

Máster en Ingeniería de Sistemas y Servicios para la Sociedad de la Información

Trabajo Fin de Máster		
Título	Diseño e implementación de un sistema WDM mediante equipamiento de Fibernet	
Autor	Ignacio Carcas Celihueta	VºBº
Tutor	José Enrique Gonzalez García	
Ponente	Ignacio Carcas Celihueta	
Tribunal		
Presidente	Rafael Herradón Díez	
Secretario	Pedro García del Pino	
Vocal	José María Rodríguez Martín	
Fecha de lectura	02-07-2015	
Calificación		

El Secretario:

Índice

1. Historia de las comunicaciones por fibra óptica	1
1.1. Los orígenes. Descubrimiento de los colores.....	3
1.2. Descubrimiento del infrarrojo.	3
1.3. El camino hacia la fibra óptica.....	4
1.4. Evolución de la fibra óptica.	6
2. Estado del arte	9
3. OTN: Red de Transporte Óptico.	11
3.1. Introducción.	13
3.2. SDH (Synchronous Digital Hierarchy).	13
3.3. Red de Transporte Óptico (OTN).	17
3.4. Los pilares de OTN.	19
4. Multiplexación por División de Longitudes de Onda (WDM)	21
4.1. Introducción	23
4.2. ¿Por qué WDM?	24
4.3. Parámetros de un Sistema WDM.....	26
i) Atenuación.	26
ii) Dispersión.....	27
a. Dispersión Modal (MD)	28
b. Dispersión Cromática (CD)	28
c. Dispersión por Modo Polarización (PMD)	28
d. Pérdidas de inserción	29
e. Crosstalk Óptico o diafonía	29
f. Pérdidas de retorno.....	30
4.4. Componentes de una red WDM.....	30
i) Fuentes de luz: Láseres.	31
a. Láser Fabry Perot (FP).	31

b. Láser de Retículas de Realimentación Distribuida (DFB).....	32
c. Láser reflector de Bragg Distribuido (DBR).	33
d. Láser emisor de superficie de cavidad Vertical (VCSEL).	34
iii) Comparación de las Diferentes Tecnologías.....	35
iv) Los multiplexores.	36
a. Multiplexación a través del uso del prisma.	37
b. Array de Guía Onda.....	37
c. Rejillas de difracción.	38
d. Filtros de Película Delgada (TFF).	39
v) Comparación entre multiplexores.....	40
vi) El OADM (Optical Add-Drop Multiplexer).	41
vii) Amplificación y Regeneración Óptica	42
a. Amplificadores EDFA.....	44
b. Amplificadores RAMAN.....	46
c. Regeneración óptica.	48
vii) Receptores o Fotodetectores.....	49
a. Fotodiodos PIN	49
b. Fotodiodos APD.....	50
4.5. Tipos de tecnología WDM.....	53
i) Ventanas de transmisión.	53
ii) Tipos de fibra óptica.....	54
iii) Asignación de longitudes de Onda.....	57
iv) CWDM y DWDM.	58
a. CWDM.....	59
b. DWDM.....	61
5. Aplicación WDM en las Redes de Telecomunicación.	63
5.1. Storage Area Networks (Redes de Almacenamiento)	65

5.2.	Extensión LAN/SAN sobre la fibra óptica	67
5.3.	“Backhaul” móvil	68
5.4.	Servicios sobre Redes de Operadora	68
6.	Diseño de redes WDM.	71
6.1.	Topologías y esquemas de protección.....	73
i)	Topología punto a punto.....	73
ii)	Topología en anillo.....	74
6.2.	Densidad de canales	75
6.3.	Afectación de Atenuación y Latencia	77
i)	Atenuación.....	77
ii)	Latencia	77
iii)	Dispersión Cromática.....	78
6.4.	Previsión de crecimiento	78
7.	Despliegue de un sistema WDM	81
7.1.	Requerimientos del cliente	83
i)	Objeto del requerimiento.	83
ii)	Alcance de la solución.	83
iii)	Requisitos técnicos.	84
7.2.	Descripción de la solución	85
7.3.	Elementos que conforman la solución. (Anexo I: DataSheets).....	91
i)	Equipamiento CMUX 4+.	91
a.	Descripción.....	91
b.	Unidad principal.....	92
c.	Unidad óptica.....	93
d.	Unidad de ventilación.....	94
e.	Fuentes de alimentación.....	94
f.	Gestión del equipo CMUX4+.....	95

ii)	Equipamiento XMUX 4+.....	95
a.	Descripción.....	95
b.	Unidad principal.....	97
c.	Unidad de ventilación.....	98
d.	Fuentes de alimentación.....	98
e.	Gestión del equipo XMUX4+.....	98
iii)	FMD.....	98
iv)	SFP	99
v)	Módulo de Conmutación.....	104
a.	Descripción.....	104
b.	Arquitectura física del OSW-3.....	105
c.	Interpretación de los LEDs.....	107
d.	Unidad de ventilación.....	108
e.	Fuentes de alimentación.....	108
f.	Tarjeta controladora.....	108
g.	Tarjeta óptica.....	109
h.	Gestión del equipo OSW-3.....	110
7.4.	Esquema lógico de la red de transmisión.....	111
7.5.	Hojas de Configuración.....	113
7.6.	Diagrama de instalación.....	114
7.7.	Parámetros de red y acceso	115
7.8.	Pruebas y medidas	117
i)	Equipamiento utilizado.....	117
a.	Medición de potencia óptica.....	117
b.	Caracterización de la fibra.....	119
c.	Reflectometría y CD/PMD.....	120
d.	Pruebas BERT.....	123

ii) Atenuación de la fibra de planta externa	124
iii) Caracterización de la fibra de planta externa.....	124
iv) Resultados de las pruebas de reflectometría.	126
iv) Medidas de dispersión Cromática	128
v) Pruebas de BERT	131
vi) Análisis de las pruebas	132
vii) Fotos de la instalación.....	134
7.9. Presupuesto.....	135
7.10. Mejoras propuestas: Localización de la falla en tiempo real.....	136
7.11. Futuras líneas de trabajo.	137
7.12. Conclusiones.....	129
ANEXOS.....	141
Anexo I: Características técnicas CMUX4+.....	143
Anexo II: Características técnicas XMUX4+.....	144
Anexo III: Características técnicas OSW-3.....	145
Anexo IV: Operación CMUX4+.....	147
Anexo V: Descripción Operación XMUX4+.....	156
Anexo VI: TRAPs de Alarmas de MUX4+.....	166
Anexo VII: Descripción Operación OSW-3.....	168
Anexo VII: TRAPs de Alarmas de OSW-3.....	173
Referencias Bibliográficas.....	175



Diseño e implementación de un sistema WDM mediante equipamiento de Fibernet



Índice de figuras

Figura 1.	Caracterización del espectro respecto a la frecuencia	4
Figura 2.	Transparencia y flexibilidad de OTN	19
Figura 3.	Fundamento de funcionamiento de WDM	23
Figura 4.	Diagrama de ojo, Dispersión	28
Figura 5.	Dispersión PMD	29
Figura 6.	Esquema sistema WDM.....	30
Figura 7.	Esquema Láser DFB.....	32
Figura 8.	Esquema Láser DBR	34
Figura 9.	Esquema Láser VCSEL	34
Figura 10.	Prisma de demultiplexación	37
Figura 11.	Demultiplexor AWG.....	38
Figura 12.	Multiplexor rejillas de difracción.....	39
Figura 13.	Multiplexor TFF	40
Figura 14.	Esquema OADM.	41
Figura 15.	Funcionamiento de un amplificador óptico	43
Figura 16.	Datos de antes y después de la amplificación.....	44
Figura 17.	Esquema localización Booster y Preamplificador	46
Figura 18.	Regeneración 3R	49
Figura 19.	Sección de un diodo PIN y esquema eléctrico equivalente.	50
Figura 20.	Estructura de un fotoreceptor APD.....	51
Figura 21.	Factor de multiplicación del APD en función de V.	52
Figura 22.	Esquema ventanas de transmisión.	53
Figura 23.	Esquema ventanas de transmisión CWDM y DWDM.	57
Figura 24.	Esquema interconexión entre CPD	66
Figura 25.	Esquema extensión LAN/SAN	67

Figura 26.	Esquema “backhaul” móvil	68
Figura 27.	Esquema interconexión con RTLD	69
Figura 28.	Esquema configuración punto a punto	73
Figura 29.	Esquema configuración punto a punto	74
Figura 30.	Esquema configuración punto a punto	75
Figura 31.	Esquema habitual de red WDM metropolitana	76
Figura 32.	Esquema sistema WDM.....	85
Figura 33.	Esquema general del sistema WDM	87
Figura 34.	Equipo CMUX4+ totalmente equipado	91
Figura 35.	Diagrama de bloques de CMUX 4+	92
Figura 36.	Esquema frontal del equipo CMUX 4+	92
Figura 37.	Unidad principal del CMUX4+	93
Figura 38.	Unidad Óptica del CMUX4+.	93
Figura 39.	Esquema frontal de la unidad de ventilación del CMUX4+.	94
Figura 40.	Fuente de alimentación de CA	95
Figura 41.	Fuentes de alimentación de DC 48 y 24v.....	95
Figura 42.	Equipo XMUX4+ totalmente equipado	95
Figura 43.	Diagrama de bloques de XMUX 4+	96
Figura 44.	Esquema frontal del equipo XMUX 4+	97
Figura 45.	Unidad principal del XMUX4+	97
Figura 46.	Perspectiva frontal del un módulo FMD.....	99
Figura 47.	Perspectiva frontal del gestor de ópticas OMP-3.....	99
Figura 48.	SFPs Comerciales	100
Figura 49.	Frontal del equipo OSW-3.....	104
Figura 50.	Frontal del equipo OSW-3.....	105
Figura 51.	Diagrama de bloques del OSW-3.....	106
Figura 52.	Esquema de los LEDS indicadores del OSW-3.....	107

Figura 53.	Frontal de las tarjetas controladoras del OSW-3	109
Figura 54.	Frontal de las tarjetas ópticas del OSW-3	110
Figura 55.	Esquema de la red de transmisión propuesta	111
Figura 56.	Diagramas de bastidor	115
Figura 57.	Wilcom optical power meter-- model FM8515B	118
Figura 58.	Esquema de medición de potencia óptica del sistema	118
Figura 59.	SA UBI-WALICS	119
Figura 60.	GN NETTEST TUNICS-BT 1560.....	119
Figura 61.	Respuesta plana vs Respuesta en macro-curva	120
Figura 62.	OTDR JDSU MTS-6000	121
Figura 63.	Gráfica de la prueba reflectrométrica	121
Figura 64.	Gráfica del final de la fibra.....	122
Figura 65.	Gráfica representación de zonas ciegas y ancho del pulso	122
Figura 66.	Gráfica representación de evento reflectivo	123
Figura 67.	Gráfica representación de evento no reflectivo	123
Figura 68.	Caracterización de la ruta principal o ruta A.....	125
Figura 69.	Caracterización de la ruta de respaldo o ruta B.....	125
Figura 70.	Informe de medidas de OTDR Ruta A.....	127
Figura 71.	Informe de medidas de OTDR Ruta B.....	128
Figura 72.	Informe de medidas de Dispersión Cromática Ruta A	130
Figura 73.	Informe de medidas de Dispersión Cromática Ruta B	131
Figura 74.	Prueba de BERT para servicios de 1 Gbps.....	132
Figura 75.	Foto CPD Principal.....	134
Figura 76.	Foto CPD de Respaldo	134
Figura 77.	Esquema de fibra óptica de cristales fotónicos.....	137
Figura 78.	Diseño prototipo chip fotónico de IBM.....	139
Figura 79.	Ventana principal de acceso a CMUX4+	147

Figura 80.	Página principal del equipamiento CMUX4+	148
Figura 81.	Estado y configuración de canales CMUX4+	148
Figura 82.	Pestaña CFG	151
Figura 83.	Pestaña SFP LOC.....	152
Figura 84.	Pestaña SFP REM.....	153
Figura 85.	Pestaña Bit Rate	154
Figura 86.	Pestaña BERT	155
Figura 87.	Ventana de Logs.....	155
Figura 88.	Ventana principal de acceso a CMUX4+	156
Figura 89.	Página principal del equipamiento XMUX4+	157
Figura 90.	Estado y configuración de canales XMUX4+.....	157
Figura 91.	Pestaña CFG	160
Figura 92.	Pestaña SFP LOC.....	161
Figura 93.	Pestaña XFP REM.....	162
Figura 94.	Pestaña Bit Rate	163
Figura 95.	Pestaña BERT	164
Figura 96.	Pestaña CGF XFP	164
Figura 97.	Ventana de Logs.....	165
Figura 98.	Principal del OSW-3.....	169
Figura 99.	Status del Switch OSW-3	169
Figura 100.	Configuración del OSW-3.....	171
Figura 101.	Área de análisis del Switch OSW-3.....	171
Figura 102.	Ventana de LOGs y eventos	172

Índice de tablas

Tabla. I.	Tabla de equivalencias entre Señal Eléctrica y Equivalencia SDH	15
Tabla. II.	Pronóstico de la demanda de capacidad por canal.....	24
Tabla. III.	Predicción de capacidades requeridas en el futuro.....	25
Tabla. IV.	Atenuación intrínseca de la fibra.....	26
Tabla. V.	Comparación de las Diferentes Tecnologías de Fuentes de luz	36
Tabla. VI.	Comparación entre multiplexores	41
Tabla. VII.	Obtención de una ganancia constante con la longitud de onda, empleando un EDFA junto con un amplificador Raman.....	48
Tabla. VIII.	Esquema comparativo comportamiento fibra.....	56
Tabla. IX.	Dónde aplica CWDM y DWDM.	59
Tabla. X.	Kilómetros de las rutas de fibra óptica del sistema	84
Tabla. XI.	Canales requeridos a transportar	84
Tabla. XII.	Descripción rápida de SFP de usuario para 1 Gbps	100
Tabla. XIII.	Descripción rápida de SFP de usuario para FC-8 Gbps	101
Tabla. XIV.	Descripción rápida de SFP de línea para 1 Gbps.....	102
Tabla. XV.	Descripción rápida de SFP de línea para FC-8 Gbps	103
Tabla. XVI.	Canales requeridos a transportar	114
Tabla. XVII.	Asignación IPs-Hostname	115
Tabla. XVIII.	Parámetros SNMP, NTP y Syslog	116
Tabla. XIX.	Parámetros Acceso GUI equipos MUX+ y OSW-3	116
Tabla. XX.	Atenuación de las rutas a 1550 nm.....	124
Tabla. XXI.	Presupuesto estimado para la instalación	135
Tabla. XXII.	Características técnicas del equipo CMUX4+	143
Tabla. XXIII.	Características técnicas del equipo XMUX4+	144
Tabla. XXIV.	Características técnicas del equipo OSW-3.....	145
Tabla. XXV.	Traps básicos y eventos de equipos MUX4+	166

Tabla. XXVI. TRAPs específicos para equipos MUX4+	167
Tabla. XXVII. Traps básicos y eventos de equipos OSW-3.....	174
Tabla. XXVIII. Definición de la severidad de los Traps.....	174

Resumen

El objetivo que persigue el presente trabajo es el diseño de un sistema de interconexión basado en la tecnología WDM. Se presenta la comunicación entre dos Centros de Procesamiento de Datos (CPDs), localizados geográficamente distantes dentro de un entorno metropolitano.

El punto de partida se establece sobre la base de una serie de requerimientos previos solicitados por un operador de telecomunicaciones, el cual pretende dotar de servicio mediante fibra óptica a varios centros de negocio dentro de la misma ciudad y, para ello, se solicita el diseño y la implementación de la solución lo que, en esencia, se tratará de un proyecto llave en mano.

En este documento se expondrá el análisis del caso de estudio, la solución técnica desarrollada para satisfacer los requisitos requeridos por el cliente y la estimación económica del equipamiento e instalación del mismo.

Del mismo modo, se establecerán líneas de trabajo futuras de cara a mejorar el sistema de comunicación implementado de acuerdo a las necesidades actuales y futuras, ya sea traducido en una mejora de las prestaciones o ahorro de costes.

Para poder realizar el diseño de la solución, se establecen las bases teóricas de la tecnología WDM con el fin de disponer de los conocimientos necesarios para el estudio, diseño e implementación de la solución propuesta.

Summary

The aim of this paper is to study the design of an interconnection system based on WDM technology. Communication will be means of two Data Center (DC) located at different geographical points within a metropolitan area.

The starting point is based on a serie of demands requested by a telecommunications service provider, which claims to provide a communication service using fibre optics to several business centers within the same city and, to do this, it requires the design and deploy the solution that, will basically be a turnkey project.

The paper analyzes the case of study, the technical solution which needs to be developed to fulfil the requirements required by the client and an estimate budget as regards the equipment and installation needed.

In the same way, it describes the possible lines of work so as to improve implemented communication system taking into account the future needs, either related to improved performance or cost savings.

To carry out the design of the solution, a theoretical basis of WDM technology is established in order to obtain the knowledge needed for the study, design and implementation of the proposed solution.

1. Historia de las comunicaciones por fibra óptica



Diseño e implementación de un sistema WDM mediante equipamiento de Fibernet



1.1. Los orígenes. Descubrimiento de los colores.

En 1665 la Universidad de Cambridge, debido a una epidemia de peste que asola Londres, se ve obligada a cerrar sus puertas, dejando a miles de estudiantes y profesores sin clases.

Uno de los estudiantes afectados, es un joven Isaac Newton, quién, debido a dicha epidemia, viaja a su pueblo natal, Woolsthorpe para disfrutar de unas vacaciones forzosas, las que serían, a la postre, las vacaciones más fructíferas de la historia de la ciencia.

A lo largo de estos meses, el inquieto Newton logrará experimentar y desarrollar sus ideas acerca de la naturaleza de la luz, la gravitación universal y el método de las fluxiones.

Solamente un año después, en 1666, ayudándose de un prisma y un agujero perforado en la contraventana de su habitación, consigue demostrar que la luz del sol es una mezcla de colores del espectro.

1.2. Descubrimiento del infrarrojo.

Algo menos de 150 años después, en 1800, Sir Frederick William Herschel, partiendo de la experiencia de Newton, dirige la luz del sol a través de un prisma para crear un espectro y medir la temperatura de cada uno de los colores.

Con las muestras obtenidas, pudo observar que al medir la temperatura de la luz de colores violeta, azul, verde, amarillo, naranja y roja, esta se incrementaba desde la muestra violeta hacia la parte roja del espectro de manera progresiva.

Después de constatar este patrón y ver que las características se mantenían en diferentes condiciones, Herschel decidió dar un paso más y se propuso medir la temperatura más allá de la porción roja del espectro que, aparentemente, se trataba de una región desprovista de luz del sol. Para su sorpresa, encontró que ésta región tenía la temperatura más alta de todas las medidas en el espectro visible al ojo humano.

Lo que William Herschel había descubierto lo definió como una forma de energía más allá de la luz roja. Estos "rayos caloríficos" se renombraron rayos infrarrojos.

En la Figura 1, procedente de la empresa "C/SCO" se muestra como está dividido el espectro de la luz de acuerdo la magnitud de la frecuencia y, en consecuencia, del tamaño de la longitud de onda.

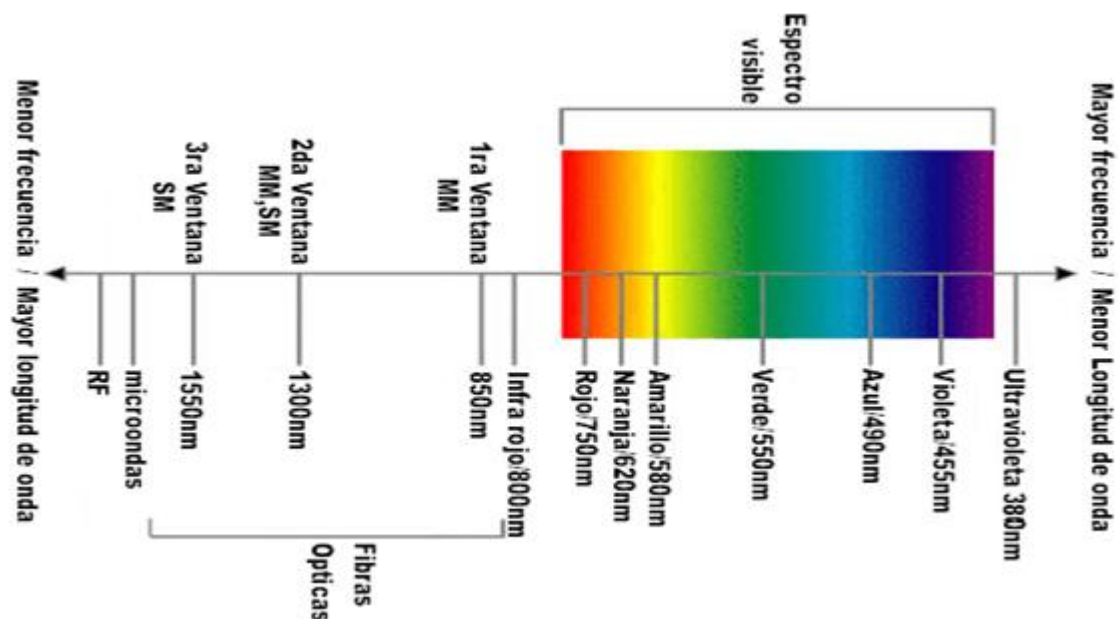


Figura 1. Caracterización del espectro respecto a la frecuencia

Se puede observar que el espectro visible se encuentra acotado aproximadamente entre los 380 y 780 nanómetros mientras que, los infrarrojos, se sitúan, precisamente, a frecuencias inferiores a las localizadas en el color rojo. Serán precisamente los infrarrojos más cercanos al espectro visible los que se utilicen para permitir la transmisión de información a través de la fibra óptica.

1.3. El camino hacia la fibra óptica.

En la década de los 40 del Siglo XIX, el físico Suizo Daniel Collodon y el francés Jacques Babinet, valiéndose de unos simples chorros de agua de una fuente, consiguieron demostrar que la luz podía guiarse a lo largo de los mismos.

John Tyndall, recogiendo dicha experiencia, popularizó la idea en 1854 en base a un experimento que usaba un chorro de agua fluyendo desde un tanque.

En 1954, Van Heel de Holanda y Hopking presentaron un estudio acerca de un conductor óptico en el prestigioso diario Británico "Nature". Ni Van Heel ni Hopkins llegaron a la fabricación de conductores que pudiesen transportar la luz a distancias largas, pero sus reportes hicieron que la F.O. evolucionara. Hacia los años 60, ya se habían desarrollado las fibras con cubiertas de vidrio, las cuales mostraban una atenuación de aproximadamente un decibelio por metro, adecuadas para la medicina, pero muy altas para ser utilizada en las comunicaciones.

Un paso fundamental hacia la consecución de las comunicaciones por fibra óptica fue el descubrimiento del láser por Theodore Maiman y en el año 1962 ya se realizaron los primeros láseres semiconductores.

Un pequeño grupo de investigadores no descartó la utilidad de la fibra tan fácilmente, un equipo de Standard Telecommunications Laboratories, inicialmente encabezados por Antoni E. Karbowiak, se dedicaron a estudiar las guías de onda ópticas para las comunicaciones. Karbowiak pronto se unió con un joven ingeniero nacido en Shanghai, Charles K. Kao.

Fue precisamente Kao quien posteriormente trabajó en una propuesta de comunicaciones de larga distancia con fibras monomodo. Convencido que las pérdidas de fibra podían ser reducidas por debajo de los 20 decibelios por kilómetro.

Ya en la década de los 70, en la compañía Corning Glass Works, surgió uno de los mayores avances y el gran impulsor de las comunicaciones por fibra óptica cuando Donald Keck, Peter Schultz y Robert Maurer lograron fabricar con éxito una fibra óptica de cientos de metros de largo con la claridad cristalina que Kao había propuesto.

Poco después, en los Laboratorios Bell, Panish y Hayashi mostraron un láser de semiconductores que podía funcionar continuamente a temperatura ambiente.

Un hito que es importante señalar es el logrado por MacChesney y sus colegas en los Laboratorios de Bell, que consiguieron en 1974 el proceso químico que hizo posible la fabricación masiva de fibra óptica de alta calidad.

1.4. Evolución de la fibra óptica.

La primera generación probada en el campo de la telefonía fue realizada en 1977 por AT&T en Atlanta. Se usaron fibras para transmitir luz a 850 nanómetros.

Los equipos de trabajo instalaron dos cables de fibra óptica, cada uno de los cuales medía 630 metros de largo y contenía 144 fibras, tirando de ellos a través de conductos subterráneos estándar, para lo que se requería que los cables pudieran sortear curvas cerradas.

El servicio comercial comenzó al año siguiente en Chicago, donde un sistema de fibra óptica transportaba voz, datos y señales de vídeo a través de 2,4 km de cables subterráneos que conectaban dos oficinas de conmutación de la compañía telefónica de Illinois Bell Telephone Company.

Estas primeras generaciones de sistemas podían transmitir luz a varios kilómetros sin repetidor, pero estaban limitadas por una atenuación de aprox. 2 dB/km. Pronto apareció una segunda generación de fibra, usando los nuevos láseres de InGaAsP que emitieron a 1.3 μm , donde la atenuación de la fibra era tan baja como 0.5 dB/km, y la dispersión del pulso reducida a 850 nm.

En 1983 MCI, una de las grandes compañías de larga distancia en los Estados Unidos fue la primera en tender una Red Nacional de Fibra óptica en el país.

A finales de los años ochenta, los sistemas tendían a operar a mayores longitudes de onda. La fibra de dispersión desplazada (DSF), se introdujo en 1985, y anunció una nueva era en las comunicaciones ópticas. Uniendo el mínimo de atenuación en la ventana de 1550nm con dispersión cero en la misma longitud de onda, por lo tanto, sería posible conseguir una mayor velocidad, así como mayores distancias, en la transmisión de datos.

En 1978, el total de fibra óptica instalada en el mundo era solamente de 960 km. En 1980, AT&T presentó a la comisión federal de comunicaciones de EE.UU. (Federal Communications Commission) un proyecto de sistema que conectaría las principales ciudades del corredor de Boston a Washington. Cuatro años después, cuando el sistema comenzó a funcionar, su cable de menos de 1 pulgada (2,5 cm) de diámetro, proporcionaba 80.000 canales de voz para conversaciones telefónicas

simultáneas. Para entonces, la longitud total de los cables de fibra únicamente en los Estados Unidos alcanzaba 400.000 km, suficiente para llegar a la Luna.

Pronto, cables similares atravesaron los océanos del mundo. El primer cable transatlántico comenzó a funcionar en 1988, usando un cristal tan transparente que los amplificadores para regenerar las señales débiles se podían colocar a distancias de más de 64 km. Tres años después, otro cable transatlántico duplicó la capacidad del primero. Los cables que cruzan el Pacífico también han entrado en funcionamiento ofreciendo un servicio telefónico fácil para el creciente comercio entre los Estados Unidos y Asia.

En 1990, los Laboratorios Bell transmiten una señal de 2.5 Gb/s a través de 7.500 km sin regeneración. El sistema usaba un láser y un amplificador EDFA que permitía a la onda de luz mantener su forma y densidad.

En 1998, los mismos laboratorios Bell transmitieron 100 señales ópticas de 10 Gb/s por una sola fibra de 400 km. En este experimento, gracias a las técnicas WDM (wave-division multiplexing) que permite combinar múltiples longitudes de onda en una sola señal óptica, se incrementó la capacidad de transmisión de una fibra a un terabit por segundo (10^{12} b/s).



Diseño e implementación de un sistema WDM mediante equipamiento de Fibernet



2. Estado del arte



Diseño e implementación de un sistema WDM mediante equipamiento de Fibernet



Antiguamente, las redes de fibra estaban destinadas básicamente a transmitir tráfico telefónico, sin embargo, desde finales del siglo pasado, diversos estudios afirman que la inclusión de información de datos y en formato vídeo en los canales de transmisión ha tenido un crecimiento exponencial, alcanzando un 80% del tráfico total en el año 2010. Específicamente, el crecimiento del tráfico de voz, se estima en un 10% anual y el de datos (incluyendo el acceso a Internet por vía telefónica) en un 45% hasta 2010, creciendo todavía más desde dicha fecha gracias a los smartphones y dispositivos como “tablets”, ambos con conexión mediante 3G y 4G.

A mediados de los 80 del siglo pasado quedó demostrado que la tecnología TDM (multiplexación de señales en el dominio del tiempo) no sería suficiente para afrontar la avalancha de demanda de tráfico que vendría en el futuro. El tráfico de datos necesitó entonces el despliegue de la multiplexación por longitudes de onda (WDM), que permite que muchas señales puedan ser transmitidas simultáneamente por un solo vano de fibra, modulando señales discretas en diferentes bandas de frecuencia. Fue debido a la demanda como en un principio WDM dejó de ser un sueño de laboratorio para convertirse en una técnica de carácter comercial.

A principios de los 90, se denominó transmisión WDM en banda ancha a la transmisión de una señal a 1550 nm y otra de retorno a 1310 nm. Más tarde, a mitad de los 90, el desarrollo WDM permitía espaciamientos más cortos, implementando transporte bidireccional de 2x2 y 4x4 canales a 1550 nm, alcanzando velocidades de 2.5 Gbps en enlaces punto a punto. Finalmente, a finales de los 90, los sistemas densos (DWDM) llegaron a ser una realidad cuando un gran número de servicios y multitud de longitudes de onda comenzaron a coexistir en la misma fibra, llegando a enviar 32/40/64/80/96 longitudes de onda a 2.5 Gbps y 10 Gbps.

La evolución de la tecnología fue muy rápida y, hoy en día se pueden ver sistemas ultra-densos (UDWDM) con transmisión de 128 y 240 longitudes de onda a 10 Gbps, 40 Gbps e incluso 100Gbps por canal, ya que la demanda de información es cada día mayor, creciendo exponencialmente.

La multiplexación por longitudes de onda se desarrolló a gran velocidad para cubrir una necesidad a corto plazo, lo que no se desarrolló a tal ritmo fue la infraestructura asociada. Así, el más común de los usos de la fibra sigue siendo el enlace punto a punto.

Mediante el uso de la tecnología WDM, cada longitud de onda transmitida por la misma fibra soporta un canal independiente, es decir, la transmisión se realiza mediante canales que disponen de un ancho de banda dedicado y garantizado para cada servicio. Para el año 2010, se predijo que la demanda por subscriptor estaría en el orden de los 100 Mbps, lo cual no pudo ser posible sin el desarrollo de redes de fibra ópticas con WDM (Multiplexación por División de Longitudes de Onda). WDM es hoy en día, una de las más respuestas más eficientes a la creciente necesidad de ancho de banda, la cual está siendo generada por el explosivo crecimiento de la demanda de acceso a información, la cual deber ser de manera rápida y sin latencia.

En las redes actuales de fibra óptica se hace cada vez más necesario el análisis espectral en cualquier punto de la red. Los sistemas WDM convierten las fibras ópticas en verdaderas autopistas de información con capacidades de hasta 2,4Tb/s. Esto se ha logrado gracias a un mayor aprovechamiento de la banda espectral de la fibra óptica.

A día de hoy, es posible transmitir hasta 240 láseres de distinta longitud de onda en un mismo vano de fibra, lo que presenta una capacidad de hasta 120 canales con ancho de banda dedicado para cada canal y sin introducir ningún tipo de latencia, a excepción de la intrínseca de la fibra.

3. OTN: Red de Transporte Óptico.



Diseño e implementación de un sistema WDM mediante equipamiento de Fibernet



3.1. Introducción.

El volumen de tráfico de información y el aumento previsto para un futuro exige plantearse un cambio en el paradigma sobre las redes ópticas o autopistas de la información que existen en la actualidad.

El requisito principal de las redes ópticas es el de poder disponer cada día más de una gran capacidad de transporte de ancho de banda, ya que se debe adaptar a los nuevos servicios y necesidades que demanda la sociedad actual. Estos servicios no son otros que aquellos que requieren un aumento de ancho de banda y un retardo en la transferencia mucho más pequeño. El aumento de heterogeneidad de las condiciones de tráfico, hace que los requisitos de QoS (Calidad del Servicio), de movilidad, y los protocolos deban ser acomodados con cierta facilidad.

La alta confiabilidad también será imprescindible para la mayoría de los servicios, ya que la red multimedia será la base para la Sociedad de la Información del futuro.

Las redes ópticas están dotadas de funcionalidad que proporciona transporte, multiplexación, encaminamiento, supervisión y capacidad de supervivencia de señales de cliente que son procesadas predominantemente en el dominio óptico. La capa óptica permite un salto en capacidad de transmisión y rendimiento de transporte.

También ofrece flexibilidad a las señales eléctricas del cliente, que serán válidas en diversos formatos y protocolos de señal. Un aspecto crítico es la transparencia de la red, puesto que los nuevos formatos de transporte y protocolos serán desarrollados continuamente.

3.2. SDH (Synchronous Digital Hierarchy).

La Jerarquía Digital Sincrónica (en adelante SDH) se puede considerar como la evolución de los sistemas de comunicaciones como consecuencia de la utilización de la fibra óptica como medio de transmisión, así como de la necesidad de sistemas más flexibles y que soporten anchos de banda elevados.

La jerarquía SDH se desarrolló en EEUU e inicialmente se denominó con el término SONET (Synchronous Optical Network). Posteriormente, en 1989, el CCITT (Telegraph and Telephone Consultative Committee) publicó una serie de recomendaciones donde se definía con el nombre de SDH.

Uno de los objetivos de esta jerarquía estaba en el proceso de adaptación del sistema PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy), ya que el nuevo sistema jerárquico SDH se implantaría paulatinamente y debía convivir con la misma. Esta es la razón por la que la ITU-T (International Telecommunications Union –Telecommunication Standardization Sector) normalizó el proceso de transportar las antiguas tramas, actualizándola.

SONET/SDH define la tecnología para transportar varias señales de diferentes capacidades a través de una jerarquía óptica síncrona y flexible. Esto se logra por medio de un esquema de multiplexado por interpolación de Bytes.

La interpolación de bytes simplifica la multiplexación y ofrece una administración de la red extremo a extremo.

El primer paso en el proceso de la multiplexación de SDH implica la generación de las señales del nivel inferior de la estructura de multiplexación.

La señal básica la conocemos como señal de nivel 1 o trama básica es STM-1 (Synchronous Transport Module level 1), con una velocidad de 155 Mbps.

Cada trama va encapsulada en un tipo especial de estructura denominado contenedor (container). Una vez se ha encapsulado se añaden cabeceras de control que identifican el contenido de la estructura y el conjunto, después de un proceso de multiplexación, se integra dentro de la estructura STM-1.

Los niveles superiores se forman a partir de multiplexar a nivel de Byte varias estructuras STM-1, (Synchronous Transport Module) dando lugar a los niveles más habituales: STM-4, STM-16 y STM-64. En la Tabla I se puede observar las equivalencias de SDH con las señales eléctricas.

Señal eléctrica	Portadora óptica	Velocidad binaria (Mbit/s)	Equivalencia SDH
STS-1	OC-1	51,84	STM-0
STS-3	OC-3	155,52	STM-1
STS-9	OC-9	466,56	-
STS-12	OC-12	622,08	STM-4
STS-18	OC-18	933,12	-
STS-24	OC-24	1244,16	-
STS-36	OC-36	1866,24	-
STS-48	OC-48	2488,32	STM-16
STS-96	OC-96	4976,64	-
STS-192	OC-192	9953,28	STM-64
STS-256	OC-256	13271,04	-
STS-384	OC-384	19906,56	-
STS-768	OC-768	39813,12	STM-256
STS-1536	OC-1536	79626,24	-
STS-3072	OC-3072	159252,48	-

Tabla. I. Tabla de equivalencias entre Señal Eléctrica y Equivalencia SDH

Las tramas contienen información de cada uno de los componentes de la red, trayecto, línea y sección, además de la información de usuario. Los datos son encapsulados en contenedores específicos para cada tipo de señal tributaria. A estos contenedores se les añade una información adicional denominada trama de trayecto (Path overhead), que son bytes utilizados con fines de mantenimiento de la red, dando lugar a la formación de los denominados contenedores virtuales (VC).

El resultado de la multiplexación es una trama formada por 9 filas de 270 octetos cada fila (270 columnas de 9 octetos). La transmisión se realiza bit a bit en el sentido de izquierda a derecha y de arriba abajo. La trama se transmite a razón de 8000 veces por segundo (cada trama se transmite en 125 μ s). Por lo tanto el régimen binario (Rb) para cada uno de los niveles es:

- $STM-1 = 8000 \cdot (270 \text{ octetos} \cdot 8 \text{ bits} \cdot 9 \text{ filas}) = 155 \text{ Mbps}$
- $STM-4 = 4 \cdot 8000 \cdot (270 \text{ octetos} \cdot 8 \text{ bits} \cdot 9 \text{ filas}) = 622 \text{ Mbps}$
- $STM-16 = 16 \cdot 8000 \cdot (270 \text{ octetos} \cdot 8 \text{ bits} \cdot 9 \text{ filas}) = 2.5 \text{ Gbps}$
- $STM-64 = 64 \cdot 8000 \cdot (270 \text{ octetos} \cdot 8 \text{ bits} \cdot 9 \text{ filas}) = 10 \text{ Gbps}$

SDH presenta una serie de ventajas respecto de tecnologías predecesoras que podían considerarse un gran avance a principios de 1990:

- El proceso de multiplexación es mucho más directo. La utilización de punteros permite una localización sencilla y rápida de las señales tributarias de la información.
- El procesamiento de la señal se lleva a cabo a nivel de STM-1. Las señales de velocidades superiores son sincronas entre sí y están en fase por ser generadas localmente por cada nodo de la red.
- Las tramas tributarias de las señales de línea pueden ser subdivididas para acomodar cargas plesiócronas, tráfico ATM (*Asynchronous Transfer Mode*) o unidades de menor orden. Esto supone mezclar tráfico de distinto tipo dando lugar a redes flexibles.
- Compatibilidad eléctrica y óptica entre los equipos de los distintos suministradores gracias a los estándares internacionales sobre interfaces eléctricos y ópticos.

Sin embargo, no hay que olvidar que el protocolo fue inicialmente concebido para permitir la multiplexación de flujos telefónicos de 64 kbit/s para su posterior transmisión por enlaces de fibra óptica de mayor capacidad.

Mediante el empleo de multiplexores de adición/extracción (ADMs -*Optical Add/Drop Multiplexers*), es posible multiplexar varios canales telefónicos hasta completar la trama SDH para su posterior transmisión por la fibra. En el extremo receptor, el ADM se encarga de realizar el proceso inverso, se realiza la demultiplexación y la extracción de los distintos canales.

Diversas causas determinan una difícil adaptación al futuro escenario de las redes y son las causas de que se plantee la eliminación de la capa SONET/SDH. Algunas de las características son las siguientes:

- Necesidad de sincronismo entre los nodos de la red SDH, se requiere que todos los servicios trabajen bajo una misma referencia de temporización.
- El principio de compatibilidad ha estado por encima de la optimización de ancho de banda. El número de bytes destinados a la cabecera de sección es muy grande, lo que nos lleva a perder eficiencia.
- Permite restaurar las conexiones punto a punto en el caso de que se produzca algún problema en una fibra o equipo intermedio, encontrando caminos alternativos para la transmisión. Esta característica tiene mayor o menor importancia según las funcionalidades que incorporen las capas superiores. Resulta de gran utilidad para servicios de tiempo real. En el caso de que la mayor parte del tráfico viaje en forma de paquetes IP, que es un protocolo no orientado a conexión, su importancia es bastante menor, puesto que el propio nivel IP cuenta con mecanismos de encaminamiento capaces de reaccionar de forma robusta ante posibles fallos en equipos o enlaces por lo que no será imprescindible la utilización de SONET/SDH.

3.3. Red de Transporte Óptico (OTN).

Mientras que el protocolo SONET/SDH fue diseñado para manejar transmisiones de una única longitud de onda (λ), la red está diseñada para manejar transmisiones de múltiples longitudes sobre una única fibra para conseguir capacidades de transmisión del orden de Terabits por segundo (WDM) además de asegurar también la interoperabilidad entre varias interfaces de equipamientos.

De acuerdo a las tendencias de la industria, existe un cambio en la demanda de los servicios, virando de la idea de exprimir al máximo la capacidad de la fibra, hacia uno focalizado en cómo se va a desarrollar una red completamente óptica.

El desarrollo de las Redes de Transporte Óptico (en adelante OTN, del inglés “*Optical Transport Network*”) basadas en WDM conduce a la disponibilidad de caminos ópticos de capacidad extremadamente alta en infraestructuras de transporte óptico.

WDM es la principal tecnología que parece poder resolver la demanda de alta capacidad actual y futura, proporcionando caminos ópticos de gran ancho de banda.

Una OTN se compone de un conjunto de elementos ópticos conectados mediante enlaces de fibra óptica, capaces de proporcionar la funcionalidad de transporte, multiplexación, encaminamiento, gestión, supervisión, y supervivencia de los canales ópticos que llevan las señales cliente. Los elementos ópticos proporcionan longitudes de onda dinámicamente y extremo a extremo a través de la red.

Los beneficios de la Red de Transporte Óptico son los siguientes:

- Posibilidad de extender sistemas WDM a redes ópticas con múltiples longitudes de onda.
- Ofrece una mayor transparencia y sincronización del servicio.
- Permite transmisión multirate y multiprotocolo
- Ofrece gran capacidad de conectividad, en tasas de Tbps
- Alto rendimiento del transporte de información.
- Opción de gestión de ambos extremos.
- Ofrece múltiples opciones de protección del servicio y QoS.(Quality of Service)
- Disminuye la latencia en la comunicación
- Permite topologías variables y dinámicas con soporte para actualización remota.

En la Figura 2 obtenida de la pagina web de la empresa “*Packetlight*”, empresa que ofrece soluciones de transporte óptico WDM, se puede ver un esquema de algunos de los protocolos más habituales que pueden ser soportados por su equipamiento.

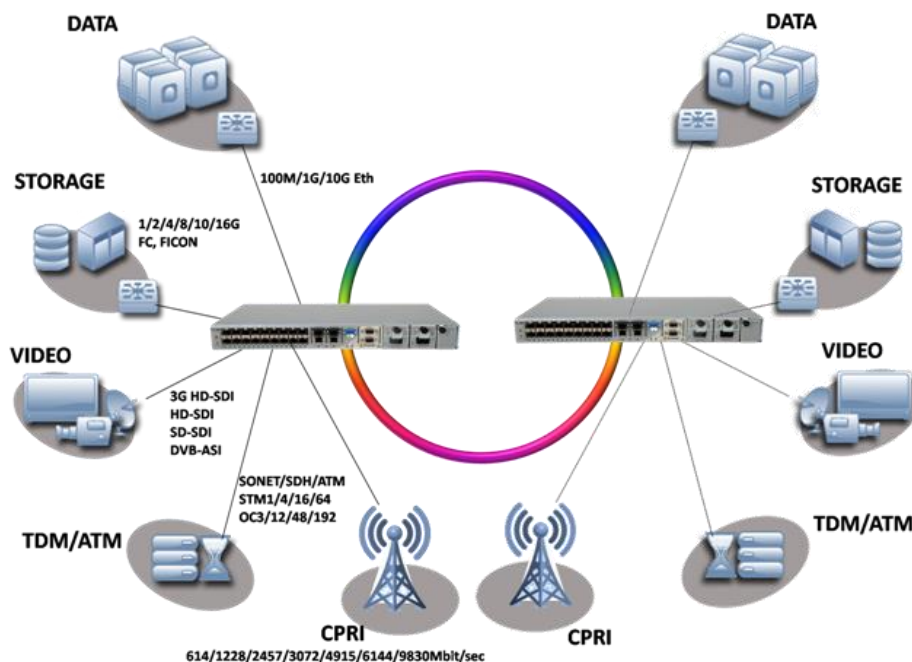


Figura 2. Transparencia y flexibilidad de OTN

En última instancia, la mayor ventaja de la Red de Transporte Óptico es que combina la flexibilidad y la gestión de SONET/SDH con la transparencia y la capacidad que dispone WDM.

En conjunto, es posible decir que es la estructura perfecta en cual se integran las tecnologías de nueva generación. De este modo, los operadores pueden combinar fácilmente múltiples redes y servicios tales como, SDH/SONET, Ethernet o protocolos de almacenamiento tipo SAN (Storage Area Network), sobre una infraestructura común que resulta rentable, escalable, flexible y que reducirá notablemente los gastos de operación.

3.4. Los pilares de OTN.

Tal y como se ha podido desprender de las necesidades descritas en el punto anterior, la demanda de nuevos servicios flexibles y de QoS hacen esbozar cuales son los pilares básicos en los que se debe apoyar Red de Transporte Óptico.

1. Agregación masiva: Es la habilidad para utilizar el ancho de banda disponible de la fibra. Requiere varias tecnologías de multiplexación que permitan la transmisión simultánea de diferentes tipos de tráfico y tasas.

2. Reconfiguración: La infraestructura de red permite que, cuando una señal entre en una longitud de onda particular en el camino óptico, esta señal o longitud de onda pueda ser encaminada a través de la red en cualquier punto y hasta cualquier puerto de salida en cualquier momento, independientemente de la tasa de datos y el protocolo.

3. Transparencia: La tecnología puede soportar SONET/SDH y formatos de señal tales como Gigabit Ethernet o Fiber Channel, así como interfaces propietarias como ESCON (IBM), redes de transporte con encaminamiento de longitudes de onda mediante conmutadores y OADMs (Optical add/drop Multiplexer), tanto estáticos como reconfigurables, y conversores de longitud de onda en los nodos de conmutación y encaminamiento.

4. Escalabilidad: Puede acomodar rápidamente nuevas demandas de capacidad en enlaces punto a punto.

5. Aprovisionamiento dinámico e interoperabilidad: Ofrece la habilidad de proveer gran ancho de banda de transporte y servicios en un plazo de días en lugar de meses. Su requisito previo, por supuesto, es la interoperabilidad a través de todos los dominios de las redes de transporte óptico. La independencia de protocolos y la transparencia de las longitudes de onda no son sólo características altamente deseables sino requisitos de la Red de Transporte Óptico.

4. Multiplexación por División de Longitudes de Onda (WDM)

4.1. Introducción

Uno de los campos fundamentales en el mundo de las telecomunicaciones es el referente al campo de la óptica, donde la modulación de la longitud de onda (definida con la letra griega lambda: λ) permite transmitir señales analógicas o digitales de unos pocos GHz o Gbits sobre una señal portadora de muy alta frecuencia, típicamente de 186 a 196 THz.

Mediante la Multiplexación por División de Frecuencia (FDM) o División de Longitudes de Onda (WDM) es posible acoplar fuentes de luz de diferentes longitudes de ondas ($\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_n$) en una única fibra óptica. Después de la transmisión sobre la fibra, las señales ($\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_n$) pueden ser separadas desde el extremo de la fibra hacia diferentes puntos de recepción.

Es posible explicar la técnica de WDM de una manera sencilla mediante la Figura 3 obtenida de la empresa inglesa “Metrodata”. A cada canal que se desea transmitir se le asigna una longitud de onda, la cual responderá a un color de luz específico, por tanto, si se desea transmitir varios canales, cada uno de ellos dispondrá de un color distinto al de los demás, formando así un “arco iris” que se enviará por una única de fibra.

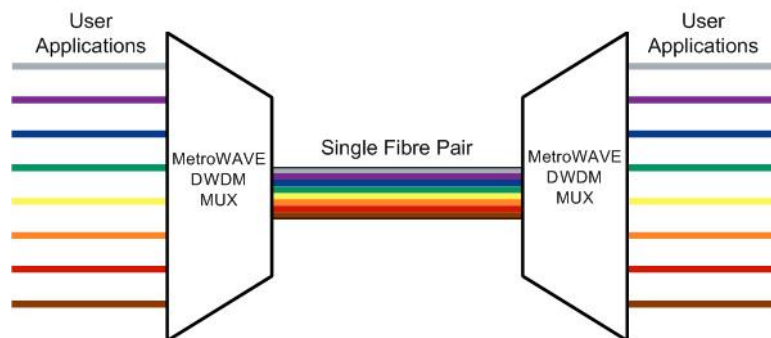


Figura 3. Fundamento de funcionamiento de WDM

WDM fue capaz de incrementar la capacidad del medio físico desmarcándose de la transmisión mediante Multiplexación por División en el Tiempo (TDM).

En un sistema WDM, cada una de las longitudes de onda es lanzada dentro de la fibra, y la señal es de-multiplexada en la parte final del medio. Así como en TDM la capacidad resultante es una suma de las señales de entrada, WDM transporta cada

una de las señales de entrada independientemente de las demás. Esto significa que cada canal tiene su propio ancho de banda dedicado; además, todas las señales llegan en el mismo instante, lo que se hace preferible a que sean divididas y transportadas en distintos “slots” de tiempo, por lo tanto, la única latencia que se encontrará será la propiamente introducida por el medio de transmisión.

4.2. ¿Por qué WDM?

A medida que la demanda de tráfico sigue creciendo, los proveedores de redes de telecomunicaciones ya han planteado el desarrollo de transporte coherente de 100Gbps en sus redes para satisfacer las necesidades del mercado.

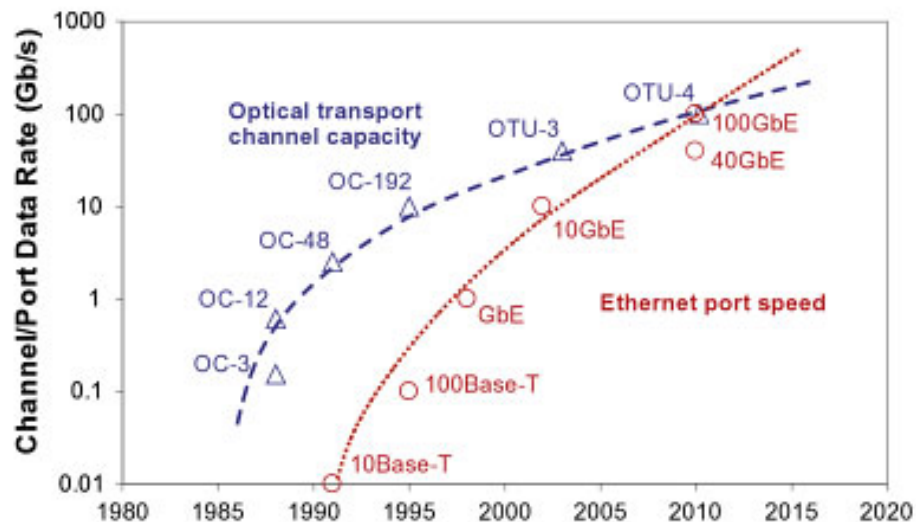


Tabla. II. Pronóstico de la demanda de capacidad por canal

La Tabla II, obtenida de la web especializada en transporte por fibra óptica, “*Fiber Optic Components*”, muestra el cronograma y la previsión de la demanda de capacidad requerida a los operadores desde 1990, donde se disponía de una capacidad de unos pocos cientos de Mbps por enlace hasta la necesidad de abordar nuevas técnicas de transporte óptico para incrementar la capacidad del canal y la capacidad del enlace óptico, introduciendo ya, 40Gbps y 100Gbps.

Tanto para la perspectiva técnica como para la económica, la habilidad de proveer potencialmente capacidad ilimitada de transmisión es la ventaja más obvia de la tecnología WDM.

En la Tabla III, facilitada por “Intel&Broadcom”, se puede observar la demanda prevista de canales de alta capacidad para un futuro próximo, se puede ver como aumenta la demanda de 40Gbps hasta casi hacer desaparecer velocidades más pequeñas.

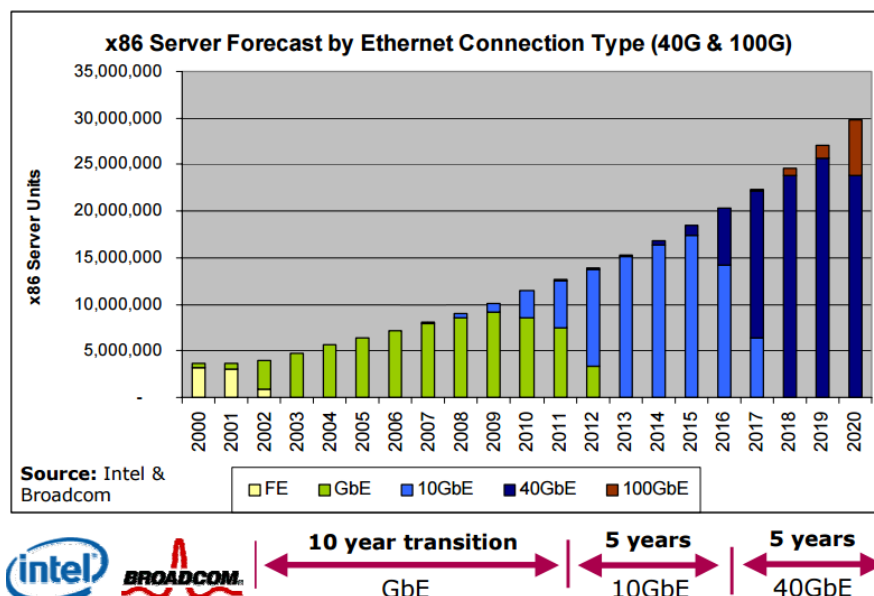


Tabla. III. Predicción de capacidades requeridas en el futuro

Las principales ventajas de WDM sobre TDM son:

- Maximiza el uso de la fibra: Con esta técnica se aprovecha mejor el ancho de banda de la fibra óptica, ya que es posible realizar una transmisión mediante canales que destinan un ancho de banda dedicado a cada uno de los servicios.
- Mayores distancias: Las tasas de transmisión binaria de cada canal son más bajas que la de la señal multiplexada TDM, por lo que la distancia de transmisión límite impuesta por la dispersión cromática es mucho mayor que en un sistema TDM.
- Escalabilidad: El sistema es más escalable, la capacidad de transmisión se puede incrementar de forma modular añadiendo nuevas longitudes de onda, todo ello sobre la planta ya existente. WDM puede influir en el despliegue de fibra en muchas de las áreas metropolitanas y redes empresariales para, rápidamente, conocer la demanda de capacidad en enlaces punto a punto y espacios de anillos SONET/SDH ya existentes.

- **Trasparencia:** El diseño de los sistemas WDM es transparente a la electrónica de red del cliente, tipo de datos o velocidad de los mismos. Lo cual es la principal ventaja de esta técnica. WDM es una arquitectura localizada en capa física, la cual puede soportar, de una manera transparente para el usuario TDM y formatos de datos tales como Gigabit Ethernet, Fiberchannel, ESCON, etc
- **Simplicidad:** En redes complejas es más sencillo emplear WDM frente a TDM porque la extracción y la inserción de canales es más sencilla gracias a los elementos ópticos como los OADM. Esto supone una reducción de nuevas instalaciones de planta.
- **Aprovisionamiento Dinámico:** Rapidez, Simplicidad y aprovisionamiento dinámico de conexiones de red da a los proveedores la habilidad de proveer servicios de gran ancho de banda de una manera flexible y ágil.

4.3. Parámetros de un Sistema WDM

i) Atenuación.

La atenuación es un parámetro que permite cuantificar las pérdidas de nivel de potencia (dB) que sufre la señal óptica a su paso por una fibra óptica.

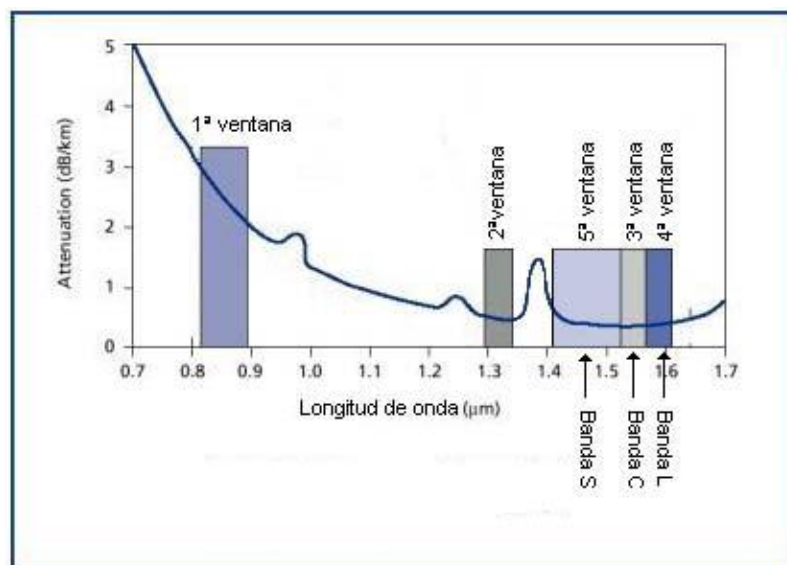


Tabla. IV. Atenuación intrínseca de la fibra

La atenuación de la luz en la fibra está en función de la longitud de onda de la fuente. La atenuación es constante para todas las frecuencias de la señal útil transmitida. La Tabla IV muestra la atenuación en las distintas ventanas de transmisión, las cuales son rangos de longitud de onda donde la atenuación es relativamente baja y aproximadamente uniforme. Se puede ver que el debilitamiento es más importante en la primera ventana de transmisión (850nm) por lo que su utilización habitual es en redes LAN. En la segunda ventana (1300nm), donde la atenuación de la fibra es típicamente menor que 0.35 dB/km es utilizada para SONET/SDH metropolitana. La región de menor pérdida, cercana a los 0.20 dB/km, permanece en una longitud de onda amplia. Los láseres y receptores operan en la tercera ventana (1550nm) que es la ventana utilizada en sistemas SONET/SDH larga distancia y también en sistemas WDM.

Conviene aclarar los conceptos de Atenuación y Potencia Óptica. La Potencia Óptica es una medida absoluta. Se obtiene con un solo punto de medida y se representa en dBm y es dependiente de la longitud de onda. Respecto a la Atenuación, es una medida relativa que se obtiene con dos puntos de medida. Se representa en dB y al igual que la potencia, también es dependiente de la longitud de onda.

ii) Dispersión.

La dispersión es el fenómeno por el cual un pulso se deforma a medida que se propaga a través de la fibra óptica, debido a que las distintas componentes de la señal viajan a distintas velocidades llegando al receptor en distintos instantes de tiempo. Debido a la deformación de los pulsos, los '0' y '1' pueden llegar a confundirse por solapamiento. En la Figura 4 se puede ver que en los diagramas de ojo esto se traduce en el "cierre del ojo".

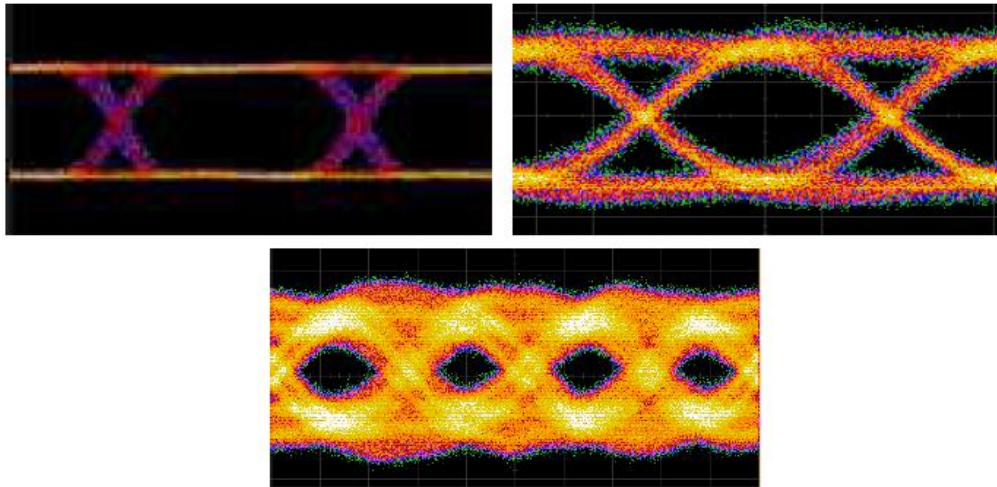


Figura 4. Diagrama de ojo, Dispersión

Se pueden definir tres tipos de dispersión:

a. Dispersión Modal (MD)

Se produce únicamente en fibras multimodo. La luz se acopla a distintos modos (a distintos rayos), y cada uno se propaga siguiendo una trayectoria distinta a lo largo de la fibra llegando por tanto en distintos instantes de tiempo al receptor.

b. Dispersión Cromática (CD)

Distintos grupos de frecuencias (o longitudes de onda) se propagan con distintas velocidades por la fibra, por lo que llegan en tiempos diferentes. Un pulso transmitido de dicha forma sufre un ensanchamiento, dispersión, limitando el ancho de banda de transmisión.

La Dispersión Cromática es estable, predecible y controlable. Los módulos de fibra de “Compensación de Dispersión” corrigen la dispersión cromática del enlace.

c. Dispersión por Modo Polarización (PMD)

Cuando una fibra es perfectamente circular la constante de propagación entre las polarizaciones es la misma y por tanto también lo es la velocidad de propagación de cada polarización.

La birrefringencia de los materiales cristalinos va a causar que en una señal óptica (monocromática) sea separada en dos señales ortogonalmente polarizadas, donde cada una viaja a velocidades diferentes. El pulso es separado en dos pulsos, cada uno viajando a diferentes velocidades y con diferente polarización. Por lo tanto, cuando las dos señales son recombinadas ocurre un ensanchamiento del pulso debido a la variación en el tiempo de llegada. Éste, representado en la Figura 5, es el fenómeno conocido como dispersión por el modo de polarización (PMD), y es notable cuando la velocidad de transmisión es alta (por encima de 2.5 Gbps) y se produce solo en fibras monomodo.

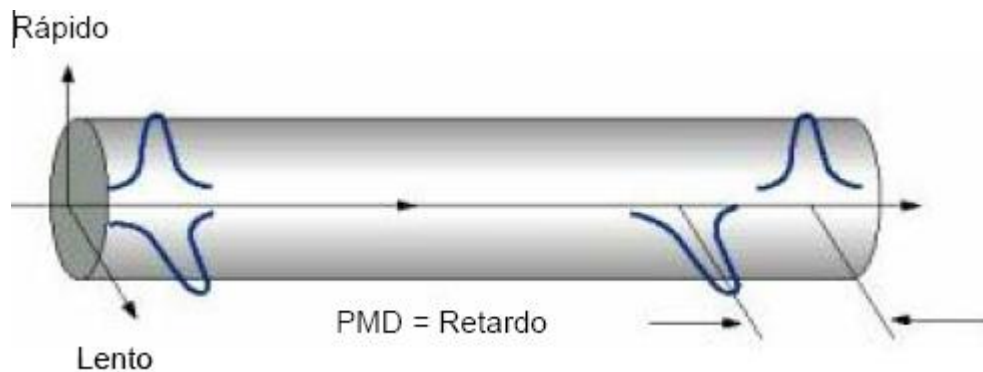


Figura 5. Dispersión PMD

d. Pérdidas de inserción

Es la diferencia entre la potencia de entrada y la potencia de salida de cada canal para el dispositivo de multiplexación y/o Demultiplexación. Esto será importante si es necesario disponer de un sistema con varios multiplexores OADM (add/drop)

e. Crosstalk Óptico o diafonía

El crosstalk Óptico puede ocurrir dentro de los dispositivos del sistema como filtros, acopladores, conmutadores o multiplexores, como también puede ocurrir dentro de la fibra a través de los efectos no lineales. Dos tipos de crosstalk ocurren en los dispositivos del sistema:

- El crosstalk inter-canal proviene de la interferencia de canales que están fuera del ancho de banda eléctrico del receptor.

- El crosstalk intra-canal proviene de los canales que están dentro del ancho de banda eléctrico del receptor.

Es importante considerar en la arquitectura del sistema el nivel del crosstalk generado por un canal adyacente, ya que junto a la dispersión cromática pueden afectar negativamente la sensibilidad del receptor.

f. Pérdidas de retorno

Se refiere a la porción de la potencia de la señal óptica entrante que se va a reflejar hacia el puerto de entrada que está bajo prueba. Una alta pérdida de retorno puede causar una distorsión en el sistema. Esta también puede generar un ruido adicional dentro del sistema cuando se combina con el crosstalk, y por ende afecta la relación señal óptica a ruido (OSNR), la cual reduce la calidad de la transmisión.

4.4. Componentes de una red WDM

En las redes WDM es posible identificar los diferentes componentes en función de su ubicación dentro de un enlace, representados en la Figura 6. De esta forma se pueden diferenciar 3 partes:

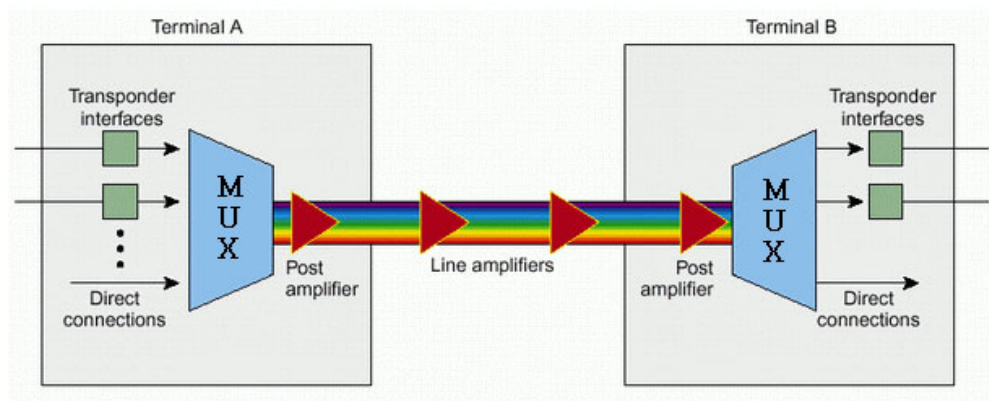


Figura 6. Esquema sistema WDM

- En la parte del transmisor: láseres con determinadas longitudes de onda y multiplexores ópticos.
- En la parte de enlace:

- Fibra óptica: uno de los componentes más críticos en una red WDM debido a que es el medio físico a través de cuál se realiza la transmisión de la información.
- Amplificadores ópticos: para amplificar la señal en tramos largos y multiplexores de inserción/extracción OADM.
- En la parte de recepción: fotodetectores y demultiplexores.

i) Fuentes de luz: Láseres.

Una propiedad fundamental de la luz establece que las ondas de luz individuales de diferentes longitudes de onda no interfieren unas con otras dentro del medio. Los láseres son capaces de crear pulsos de luz con una longitud de onda muy precisa. Cada longitud de onda individual puede representar un canal de información diferente y combinando pulsos de luz de diferentes longitudes de onda, pueden transmitirse simultáneamente varios canales a través de una sola fibra.

A continuación se describen los láseres más representativos en la actualidad.

a. Láser Fabry Perot (FP).

Los primeros diodos láser utilizaron cavidades Fabry Perot (FP), las cuales consisten de una cavidad delimitada por dos espejos con las caras exteriores perfectamente paralelas y reflectantes. Estos dispositivos oscilan en varios modos longitudinales, correspondientes a los diferentes picos de reflexión ubicados en el espectro del material activo.

Los fotones emitidos en la dirección adecuada se reflejarán repetidamente en dichas caras reflectantes (en una totalmente y en la otra sólo parcialmente), lo que ayuda a su vez a la emisión de más fotones estimulados dentro del material semiconductor, lo que permite que se amplifique la luz. Parte de estos fotones saldrán del diodo láser a través de la cara parcialmente transparente (la que es sólo reflectante de forma parcial).

Este proceso da lugar a que el diodo emita luz, que al ser coherente en su mayor parte (debido a la emisión estimulada), posee una gran pureza espectral.

El láser Fabry Perot es actualmente uno de los láseres de menor costo, así como también genera la peor penalidad de potencia debido a la dispersión, ya que el ancho de su línea óptica es muy grande, típicamente de 1 a 4 nm.

Dispone de un ancho de línea de 125 a 500 GHz. Existe la posibilidad de que puedan ser empleados para obtener un único modo longitudinal (SLM), como lo es la realimentación distribuida (DFB) o la reflexión de Bragg distribuida (DBR), entre otros.

b. Láser de Retículas de Realimentación Distribuida (DFB).

Hoy día los láseres DFB son usados en casi todas las redes DWDM. En estos láseres, una red de difracción de Bragg o una variación periódica del índice de difracción, es añadida a la capa activa con el fin de elevar la selectividad del dispositivo, así como también, la utilización de cubrimientos anti-reflectivos en los extremos. Este tipo de láser tiene un buen comportamiento a las altas temperaturas y una alta estabilidad.

En la Figura 7 se puede observar el principio de funcionamiento del láser DFB

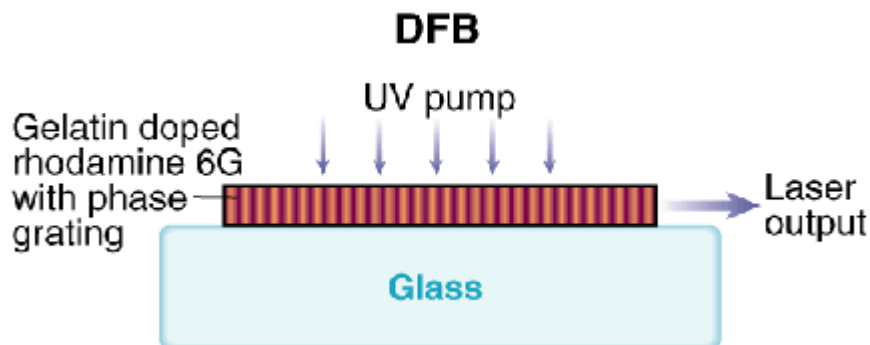


Figura 7. Esquema Láser DFB

Las frecuencias del láser DFB para DWDM están especificadas según la canalización de la ITU-T en la banda C. Es posible integrar un láser con un modulador de electro-absorción el cual presenta un buen comportamiento a velocidades de transmisión de 10 Gbps y distancias de 40 a 100 km, así como para 2.5 Gbps sobre varios cientos de kilómetros.

Entre los tipos de láser DFB se pueden diferenciar los siguientes:

- **Láser DFB Standard:** El ancho de la línea óptica está alrededor de los 0.1 nm o 12 GHz. Para altas velocidades de transmisión este láser presentará limitaciones para distancias por encima de 50 km.
- **Láser DFB Screened:** El diseño de este láser es muy similar al DFB Standard, con la diferencia de que ha sido diseñado para un ancho de línea muy estrecho, típicamente en el rango de 0.01 a 0.05 nm, que equivale de 1 a 5 GHz. Esto permite que el enlace pueda alcanzar mayores distancias a velocidades de transmisión en el orden de los Gbps.
- **Láser DFB modulado externamente:** Este láser tiene un ancho de línea muy estrecho (0.000008 a 0.000016 nm) operando en una onda continua. Permite cubrir velocidades de transmisión de 40 Gbps y un ancho de banda analógico de 20 GHz o más. En cuanto a la desventaja que puede tener este tipo de láser es la posible estimulación de efectos no lineales como la de Brillouin.

Actualmente todos los DFB desarrollados utilizan variaciones de la estructura activa, así como también se ha logrado fabricar varios DFBs con diferentes longitudes de ondas sobre un mismo dispositivo, como es el caso de láseres DFB-LDs.

c. Láser reflector de Bragg Distribuido (DBR).

En el láser DBR la red de difracción está integrada en el mismo chip, pero las rejillas están ubicadas fuera de la región activa. En una estructura típica de un DBR sintonizable, el índice de la sección de rejillas puede ser controlado y hay una sección de control de fase entre la sección de rejillas y la sección de ganancia.

En cuanto a la sintonización de la longitud de onda, ésta se puede hacer a partir de cambios en el índice de refracción, por la corriente de inyección o control térmico. Los láseres DBR y moduladores de electro-absorción pueden ser integrados para aplicaciones DWDM pero, frecuentemente, implementan estructuras adicionales como las cavidades C3 (cleaved coupled cavity) o súper redes de difracción, lo cual permite alcanzar una sintonización mucho mayor que el láser DBR convencional.

En la Figura 8 se puede observar el principio de funcionamiento del láser DBB

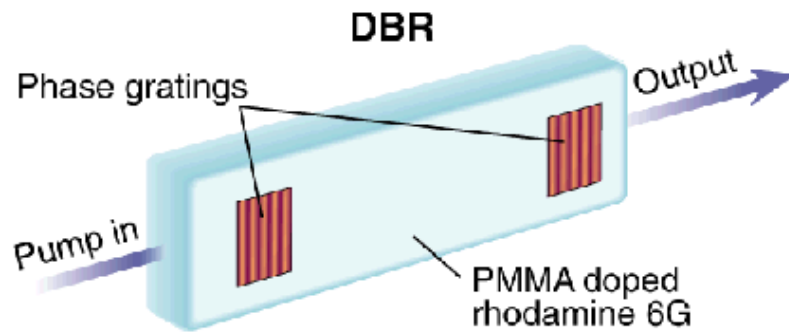


Figura 8. Esquema Láser DBR

El láser C3 está diseñado con tres secciones que manejan independientemente la corriente. Este láser permite cambiar la ganancia controlando la densidad de portadores en la región activa e, independientemente, cambia la longitud de onda con una variación del índice, el cual es controlado por la corriente. Una tercera sección es usada para acoplar ópticamente las otras dos secciones. El láser C3 puede ser sintonizables con un control de la longitud óptica de las tres cavidades.

d. Láser emisor de superficie de cavidad Vertical (VCSEL).

El láser VCSEL está basado en una región activa dentro de una pequeña cavidad óptica entre DBRs. El láser puede tener un nivel bajo de corriente y una alta eficiencia en la conversión eléctrica-óptica. En la Figura 9 se puede ver el principio de funcionamiento del láser, se observa la región activa entre DBRs

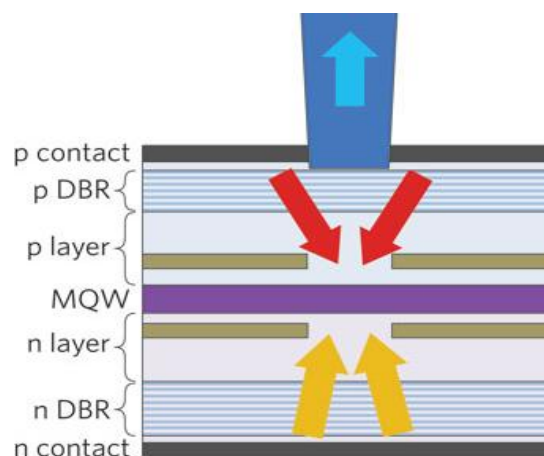


Figura 9. Esquema Láser VCSEL

Los avances de VCSEL han permitido transmisiones WDM con una capacidad de agregado de 40 Gbps sobre cuatro longitudes de onda.

Los efectos de la temperatura sobre la longitud de onda del VCSEL se deben principalmente a la variación de la longitud de la cavidad con la variación del índice y por los cambios en el espectro de ganancia del dispositivo.

iii) Comparación de las Diferentes Tecnologías.

Se han descrito las diferentes tecnologías usadas para las fuentes de luz. La sintonización continua sobre un rango espectral amplio ha beneficiado substancialmente a las aplicaciones de WDM.

Con la sintonización se permite la posibilidad de que pocos láseres puedan reemplazar a una gran cantidad de láseres que generan una longitud de onda fija. Una sintonización en un amplio rango permite realizar funciones de encaminamiento y de inserción/extracción a gran escala, así como también, permitirá la conmutación completa de paquetes. En la siguiente Tabla 5 se muestra un cuadro de las diferencias entre cada tecnología utilizada en cada láser.

Tipo de Láser	Típica Potencia de Salida (μ W)	Relación del Modo de Supresión Lateral (SMRS) (dB)	Típica Longitud de Onda Sintonizable	Observaciones
DFB	2/30 (Es baja con DFB sintonizable)	33/38	5nm	Proceso de fabricación esta bien establecido. Se han reportado DFB para 40 Gbps integrado con moduladores de electro-absorción.
Láser DFB para Multiplexores	2/10	40/50	Canales Discretamente fijados	8 canales con 3.2nm de espaciado. Más de 40 canales en etapa de investigación.
DBR	2/10	30/35	17 nm	Proceso de fabricación esta bien establecido.
C ³	2/10	35/40	14 nm y más	Es rápido. 3/10 Gbps. 850/1300 nm. 1500 nm esta siendo disponible.
VCSEL	1	30/40	40/60 nm Es factible 100 nm	Rápida respuesta en tiempo 5/30ns. No es completamente sintonizable.

Tabla. V. Comparación de las Diferentes Tecnologías de Fuentes de luz

iv) Los multiplexores.

Debido a que los sistemas WDM envían señales de varias fuentes sobre una sola fibra, es necesario incluir el elemento que combine dichas señales.

Este proceso lo realiza el multiplexor, el cuál toma distintas señales de cliente, las cuales pueden ser multiprotocolo y multirate. A dichas señales se les asignan 2 longitudes de onda (Tx y Rx) y convergen sobre un mismo haz de luz, para transmitir la señal por una sola fibra.

Por el contrario, en el extremo de recepción, el sistema debe ser capaz de separar los componentes de la luz para poder entregar cada uno de los servicios de manera individual. Los demultiplexores son los encargados de realizar esta función.

Los multiplexores y los demultiplexores pueden ser pasivos o activos en diseño.

a. Multiplexación a través del uso del prisma.

El prisma al igual que las rejillas de difracción son los multiplexor/demultiplexor más tradicionales. Tal y como se observa en la Figura 10 cuando en la superficie del prisma incide un flujo de luz policromático cada longitud de onda se refracta de manera diferente, esto es lo que se conoce como efecto arco iris, en la salida óptica, cada longitud de onda es separada de otra siguiente por un pequeño ángulo de diferencia, donde una lente enfoca cada longitud de onda hacia el punto donde está colocada una fibra para canalizar cada longitud de onda por vías diferentes.

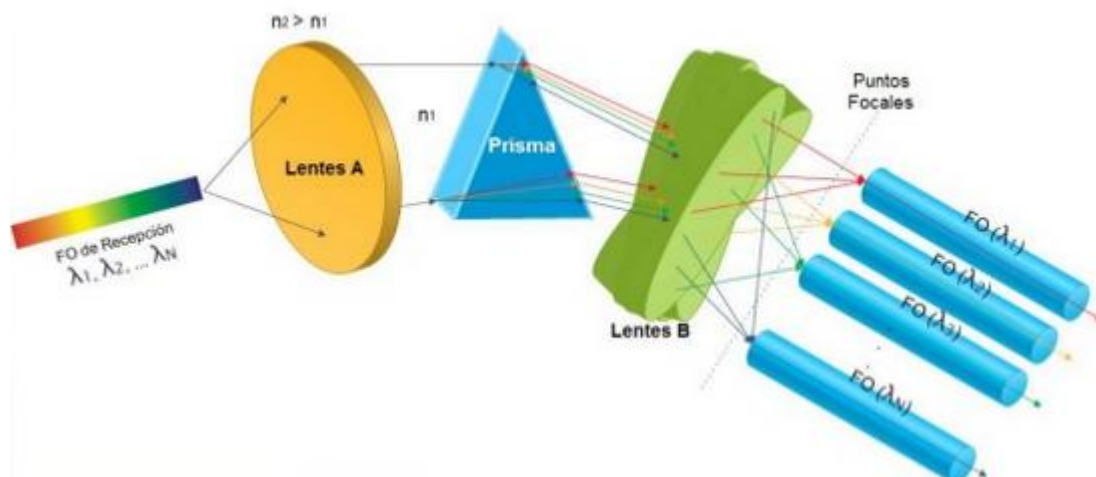


Figura 10. Prisma de demultiplexación

Hoy en día los sistemas WDM no utilizan a los prismas como multiplexor/demultiplexor, debido a la poca capacidad de dispersar diferentes longitudes de onda.

b. Array de Guía Onda.

Un multiplexor/demultiplexor AWG estructuralmente está conformado por una guía de onda de entrada, un acoplador de guía de onda de entrada, un array de guías de onda, un acoplador de guías de onda de salida y las guías de onda de salida, los cuales están dispuestos sobre un substrato.

Tal y como se puede ver en la Figura 11, cuando un AWG opera como un demultiplexor, la señal WDM que está conformada por las longitudes de onda λ_1 , λ_2 , $\lambda_3, \dots, \lambda_n$, se introducen por la guía de onda de entrada para luego ser difractada y difundida por el acoplador de entrada a cada una de las guías de onda del array.



Figura 11. Demultiplexor AWG

c. Rejillas de difracción.

Las rejillas de difracción son, junto a los prismas, los más antiguos dispositivos de separación de las componentes de una señal óptica, siendo ampliamente empleadas en el área de instrumentación espectroscópica. En WDM no se pueden utilizar filtros cuando el número de canales es muy alto o cuando las longitudes de ondas están muy cercanas. La principal ventaja de las rejillas es la difracción simultánea de todas las longitudes de ondas, así que es posible construir un dispositivo simple con un gran número de canales.

Como se puede ver en la Figura 12, las rejillas tienen la propiedad de difractar la luz en una dirección relacionada a su longitud de onda. Entonces un rayo incidente con varias longitudes de ondas es angularmente separado en diferentes direcciones.

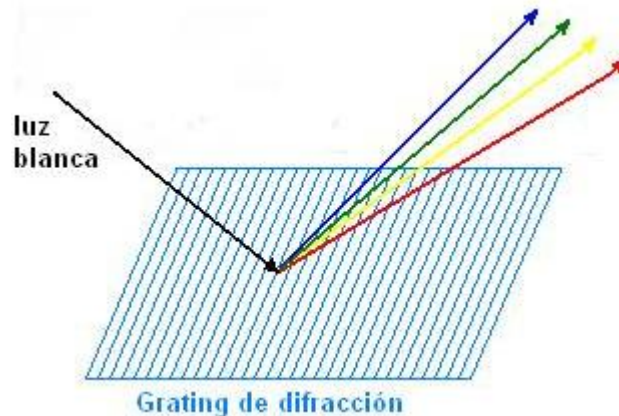


Figura 12. Multiplexor rejillas de difracción

De igual modo, varias longitudes de ondas $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$, provenientes de diferentes direcciones pueden ser combinadas en una sola dirección. El ángulo de difracción depende del espaciado de la ranura y del ángulo de incidencia.

El uso de las rejillas de difracción en las telecomunicaciones había estado limitado por las altas pérdidas dependientes de la polarización (PDL). Para contrarrestar el PDL, se utilizaba elementos controladores que incrementaban las pérdidas de inserción. Pero en la actualidad, los avances en el diseño de rejilla de bajo PDL han conllevado al desarrollo de componentes multiplexor/demultiplexor de bajas pérdidas. Estas rejillas de difracción pueden operar simultáneamente en las bandas de comunicación C y L (1520 – 1620 nm) con menos de 0.3 dB de

PDL y una eficiencia de difracción absoluta de 80 a 85%. A través de los avances ópticos y el diseño mecánico se ha podido compensar los cambios en el índice de refracción y las expansiones térmicas mecánicas.

d. Filtros de Película Delgada (TFF).

Los TFF tienen la ventaja de que generan bajas pérdidas y crosstalk, son independientes de la polarización, y sobre todo tiene una buena estabilidad térmica, lo cual permite implementar sistemas a bajos costos, ya que no requiere de controles de temperatura. En la Figura 13 se muestra el esquema general.

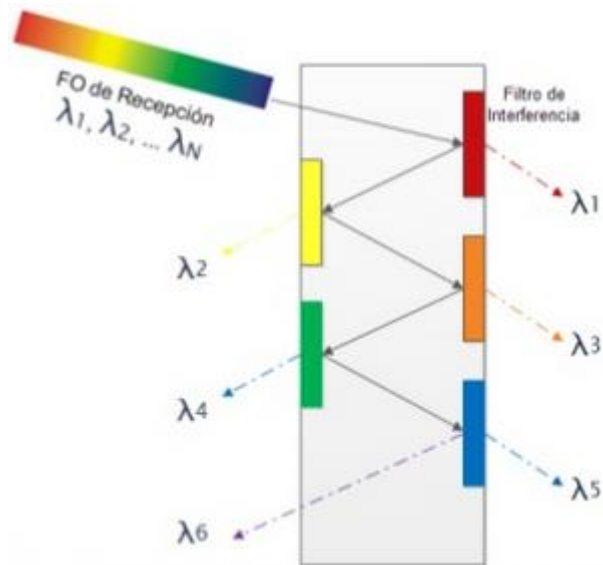


Figura 13. Multiplexor TFF

Los avances tecnológicos han hecho posible producir TFF de bajas pérdidas y de banda estrecha, cumpliendo de este modo con los requerimientos de la UIT-T para los multiplexor/demultiplexor DWDM con una separación de canal de 100 GHz. Para separar un canal de la señal WDM se requiere de un filtro óptico, y su pérdida usualmente está entre 0.5 y 1 dB. De modo que al implementar un multiplexor para la inserción/extracción de longitudes de onda o un demultiplexor WDM, se requieren varios filtros colocados en cascada, por ejemplo en zigzag, lo cual conlleva a que las pérdidas se incrementen en la medida que aumente la cantidad de canales, por lo tanto, estos dispositivos normalmente se utilizan cuando la cantidad de canales es pequeña.

v) Comparación entre multiplexores.

Filtros de Película Delgada (TFF): Los filtros ópticos pueden ser virtualmente insensibles a la temperatura ($<2 \text{ pm}/^\circ\text{C}$), pero tienen mayores pérdidas y complejidad en la medida que se aumenta el número de canales.

AWG: Los AWGs son buscados para generar un espaciado muy pequeño, sin embargo estos generan grandes pérdidas, tienen un bajo crosstalk y rango espectral libre, el cual limita en la práctica el número de canales y restringe el dispositivo AWG a emplearse en una sola dirección.

Rejillas de Difracción: Tienen la capacidad de multiplexar un gran número de canales (disponibles comercialmente con más de 160 canales y con bidireccionalidad) y manejan espaciamentos pequeños como 25 GHz (disponible comercialmente) y 5 GHz cuya factibilidad fue demostrada en el año 1997.

En la siguiente Tabla VI se puede ver un resumen de las características de los multiplexores descritos.

Soluciones	Número de Canales	Espacio entre Canales (nm)	Típicas Pérdidas (dB)	Xtalk (dB)	Rango Espectral Libre (nm)	Sensibilidad a la Polarización (% de $\Delta\lambda$)	Corrimiento por Temp. (nm / °C)
AWG	Disponible hasta 80	Menor a 0.4	6 a 10	-25	Limitado en 40	Típicamente 2%	Si: 0.012 InP: 0.1
TFF	Disponible hasta 16 o 32	Menor a 0.8	1 a 6	-10 a -25	Bueno	0%	0.0005
Rejillas de Difracción	Disponible hasta 160 y factible 262	Menor a 0.2 y factible 0.05	2 a 6	-30 a -55	Alto: 775	0%	Si: 0.01 Si/Glass o Aerial: .0003

Tabla. VI. Comparación entre multiplexores

vi) El OADM (Optical Add-Drop Multiplexer).

El OADM, representado en la Figura (14) es una unidad que puede extraer una longitud de onda λ_i de una multiplicidad de longitudes de ondas $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_i, \dots, \lambda_N$, que están multiplexadas en una fibra entrante, todas las otras longitudes de ondas son desviadas hacia la fibra transmisora, a la cual se le va a insertar la longitud onda λ_i generalmente conteniendo otro dato distinto a la inicial.

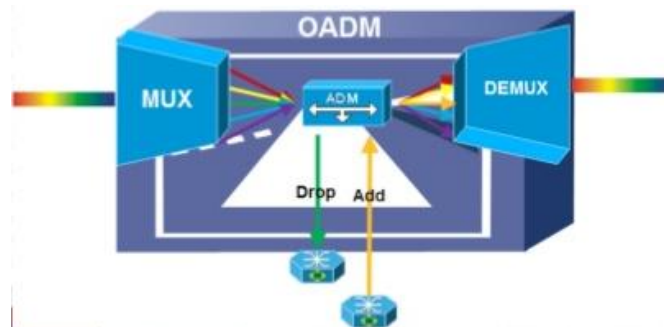


Figura 14. Esquema OADM.

En general, el OADM puede ser definido como un dispositivo que:

- Demultiplexa algunas longitudes de ondas de la fibra entrante y las extrae localmente con o sin conversión optoelectrónica.
- Desvía las otras longitudes de ondas que llegan en la fibra entrante hacia la fibra saliente.
- Inserta longitudes de ondas de los subscriptores locales en la fibra saliente a través de un multiplexor por división de longitud de onda o un combinador.
- Es frecuentemente necesario la demultiplexación y multiplexación de las longitudes de ondas desviadas con las longitudes extraídas y/o con las longitudes de ondas insertadas.

Las nuevas generaciones de OADM reciben el nombre de “*Reconfigurable ADM*”, esta evolución se trata de un subsistema que permite una configuración dinámica de la extracción, inserción o paso de las longitudes de onda que componen la luz que se transmite por la fibra óptica.

La principal ventaja de un ROADM es que no es necesario planificar la asignación del ancho de banda durante el despliegue inicial. La configuración puede realizarse cuándo y cómo sea necesario.

vii) Amplificación y Regeneración Óptica

El fundamento de un amplificador óptico, al igual que en un láser, es el proceso de emisión estimulada. Sus estructuras son similares a excepción de que el amplificador no posee una realimentación que evita que el dispositivo oscile de forma que pueda elevar el nivel de potencia de la señal pero no generar una señal óptica coherente.

En la siguiente Figura 15 se muestra un esquema del funcionamiento de un amplificador básico.

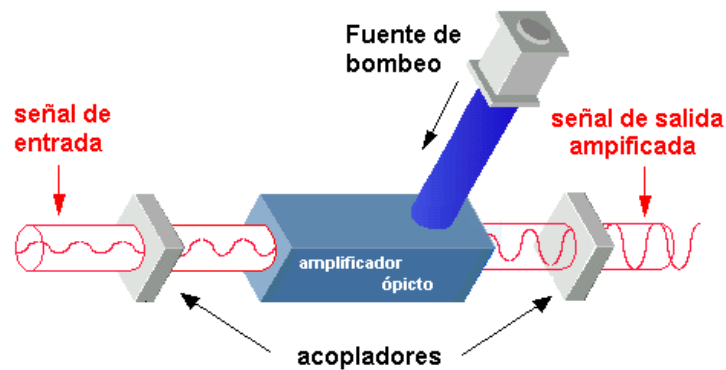


Figura 15. Funcionamiento de un amplificador óptico

Una fuente de bombeo inyecta energía en la zona activa del amplificador. Esta energía es absorbida por los electrones y, al ser estimulados por los fotones de la señal óptica de entrada, desciende su nivel de energía dando lugar a un nuevo fotón, esto es el proceso de emisión estimulada, produciéndose así la amplificación de la señal.

La amplificación se produce dentro de un rango de frecuencias que dependen del material, así como su estructura.

Los tres principales tipos de amplificadores ópticos son los SOAs, (*Semiconductor Optical Amplifiers*), los EDFAs, (*Doped-Fiber Amplifiers*) y los RAMAN. En los SOA, la zona activa está construida con aleaciones de elementos semiconductores como el fósforo, el indio, el galio y el arsénico. En los EDFA, es un núcleo de fibra óptica dopada con iones como el Erblio (Er), el Praseodimio (Pr), el Iterbio (Yb) o el Neodimio (Nd).

En cuanto los amplificadores RAMAN, se basan en la amplificación de la señal mediante el efecto RAMAN. Cuando la luz es dispersada de un átomo o molécula, la mayoría de los fotones son dispersados elásticamente (Dispersión de Rayleigh). Los fotones dispersados tienen la misma energía (frecuencia) y, por lo tanto, la misma longitud de onda que los fotones incidentes. Sin embargo, una pequeña fracción de la luz (aproximadamente 1 en 10^7 fotones) es dispersado ópticamente a frecuencias diferentes, mayormente inferiores, que la frecuencia de los fotones incidentes.

Destacar que con la amplificación no se suprimen los efectos de la fibra óptica, por lo que se siguen acumulando efectos como:

- SNR
- Dispersión Cromática
- PMD

Para solucionar esto necesitamos regenerar la señal.

A continuación se muestra, en la Figura 16 los datos de una señal antes y después de amplificar.

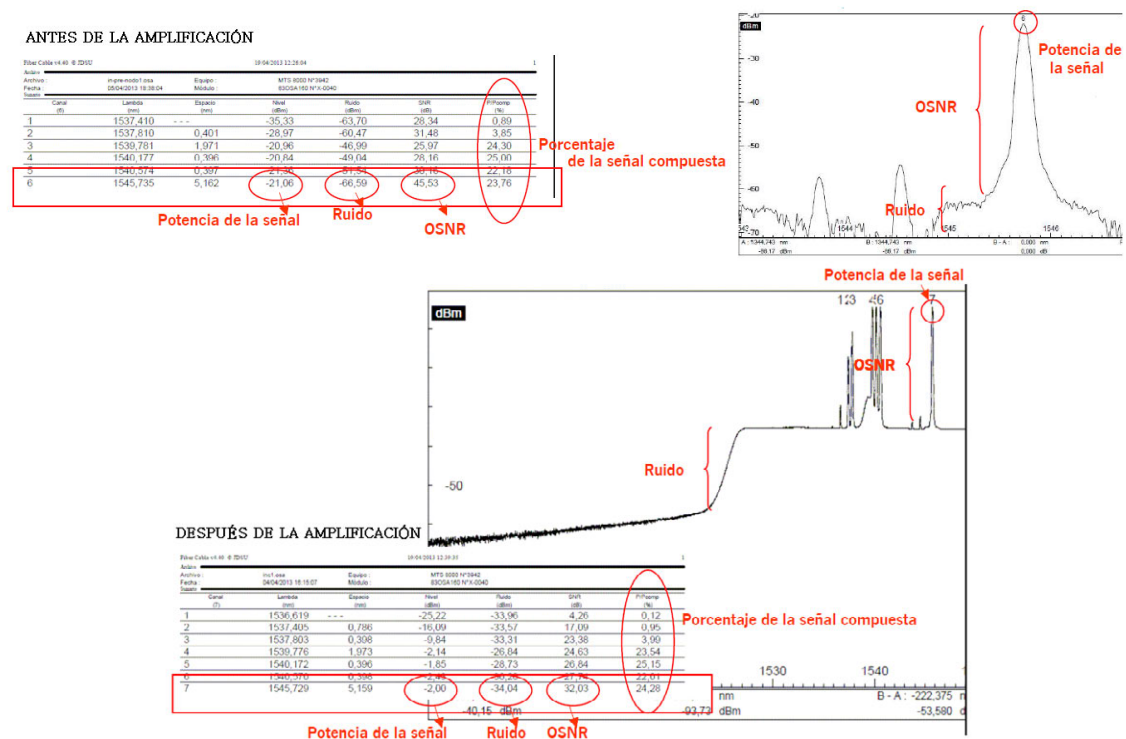


Figura 16. Datos de antes y después de la amplificación

Se puede ver (recuadro en rojo) como se amplifican los parámetros como Ruido y, al aumentar el mismo, la SNR disminuye.

En este apartado se describen los amplificadores del tipo EDFA y RAMAN ya que son los más utilizados actualmente.

a. Amplificadores EDFA.

El EDFA es el amplificador de fibra dopada más empleado en la actualidad, ya que es posible amplificar señales en la tercera ventana (1550nm).

Al dopar con iones de erbio el núcleo de una fibra óptica se provoca un ensanchamiento de las bandas de transición. Esto a su vez provoca un ensanchamiento considerable del rango de longitudes de onda que pueden ser amplificadas.

Las dos longitudes de onda de bombeo más adecuadas son 1480nm (mediante un diodo láser de InGaAsP) y 980nm (mediante un diodo láser de InGaAs). El empleo de una u otra longitud de onda depende de ciertas características del proceso de absorción en cada uno de estos niveles, derivadas de los diferentes tipos de ruido al que pueden originarse, de la disponibilidad de las fuentes de bombeo o de la saturación de ganancia. El bombeo a 1480nm supone un amplificador más ruidoso pero más inmune a la saturación de ganancia. Mientras que el bombeo a 980nm proporciona un amplificador con prestaciones de ruido excelentes pero es más proclive a la saturación de ganancia. En ambos casos es posible obtener ganancias entre 30 y 50 dB.

Dependiendo de la configuración, es posible diseñar tres tipos de modelos de amplificación:

- **OPA (*Optical Pre-Amplifier*):** Utilizado al final del enlace, antes de los receptores. Posee alta sensibilidad de entrada, bajo ruido y baja potencia de salida. Las señales de entrada oscilarán hasta -38dBm.
- **OLA (*Optical Line Amplifier*):** Utilizado en medio del enlace, responsable de amplificar la señal en el punto medio de un enlace y enviar la misma con potencia suficiente para salvar la segunda parte del enlace. Donde la sensibilidad de la potencia de entrada es de hasta -10dBm
- **OBA (*Optical Booster Amplifier*):** En la configuración en Booster el amplificador se instala a la salida de la señal óptica en el nodo origen, con potencias de entrada de hasta +3dBm. El amplificador posee una alta potencia de salida, baja sensibilidad de entrada y nivel de ruido relativamente alto.

En la siguiente Figura 17 se puede ver un esquema de las configuraciones más habituales, ya que si se requiere un escenario de amplificación “In-line” conviene estudiar la opción de regenerar.

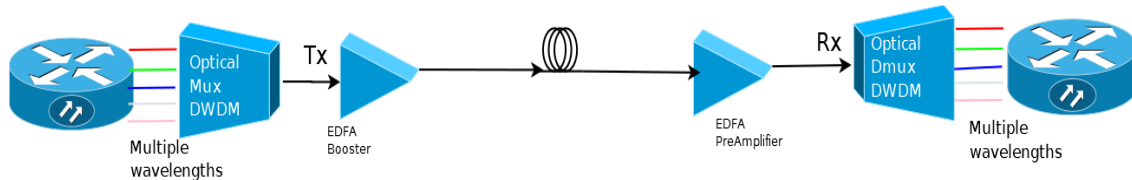


Figura 17. Esquema localización Booster y Preamplificador

El EDFA no presenta una ganancia uniforme con la longitud de onda. Debido a la saturación, según crece la potencia de entrada la ganancia disminuye hasta llegar a un punto en que se mantiene constante. Esto es un grave inconveniente en los sistemas WDM, ya que no todos los canales se amplifican por igual, aunque esto se solventa trabajando cerca de su saturación, pues la curva de ganancia es más plana.

Las características técnicas que hacen del EDFA el amplificador más utilizado:

- Como consecuencia de su geometría cilíndrica sus pérdidas de inserción en las uniones con la fibra óptica son muy reducidas.
- Debido también a su geometría su ganancia es poco sensible a la polarización de la señal.
- El ruido que genera es bajo.
- La saturación de la ganancia no ocasiona distorsión.

b. Amplificadores RAMAN.

Este amplificador se basa en el efecto RAMAN. Esta no linealidad de las fibras ópticas tiene lugar cuando ésta es atravesada por una radiación monocromática de alta intensidad. Bajo ciertas condiciones, la radiación interactúa con el material dando como resultado la aparición de una nueva longitud de onda, de mayor intensidad que la inicial.

El efecto RAMAN, en principio, es similar a una emisión estimulada, fenómeno en el cual se basan los amplificadores EDFA. En la emisión estimulada, el fotón que

interactúa con el medio provocando la emisión estimulada de otro fotón sigue presente. En el caso del RAMAN, después de la interacción entre el fotón y el medio, se genera un nuevo fotón de menor energía (menor frecuencia) y la diferencia de energía se transfiere al material dando lugar a vibraciones moleculares, desapareciendo el fotón inicial.

Las frecuencias que se pueden generar dependerán de las frecuencias características de las moléculas que componen el material. Si en el mismo instante que se transmite la señal de bombeo por la fibra óptica, se transmite también otra señal con la frecuencia característica del material, esta frecuencia se verá alterada.

Gracias a este concepto se obtiene un nuevo método de amplificar una señal óptica. La señal que provoca la amplificación será la propia señal que transmite la información. Además, si por la fibra se transmite más de un canal, cada uno dará lugar al efecto Raman en su propia frecuencia, produciéndose la amplificación, siempre que estas frecuencias estén dentro del rango de frecuencias características del material.

Los principales inconvenientes que presentan estos amplificadores es la necesidad de una alta potencia de bombeo, cercana al Vatio. Por el contrario una de sus ventajas es que cubre un margen de longitudes de onda no cubierto por los EDFA, por lo que pueden emplearse de forma complementaria. Este hecho queda reflejado en la Tabla VII, en la que se representa de forma aproximada las zonas de trabajo de cada uno. Como se ve, empleando ambos amplificadores se obtiene en el rango comprendido entre los 1530 y 1600 nm una curva ganancia prácticamente plana.

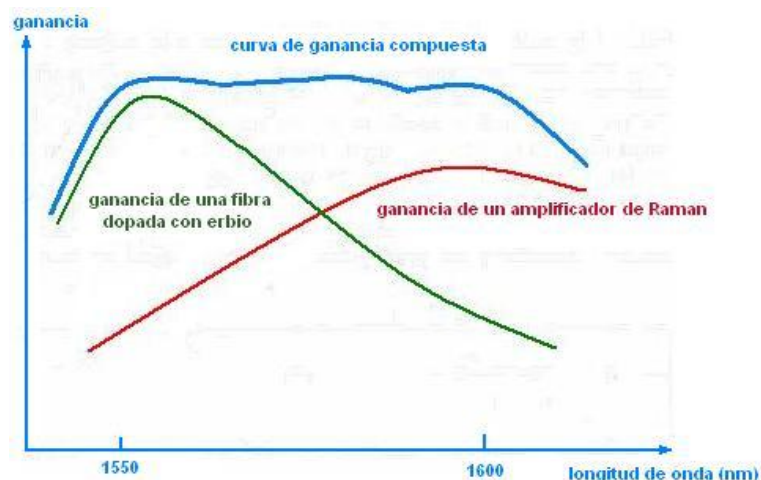


Tabla. VII. Obtención de una ganancia constante con la longitud de onda, empleando un EDFA junto con un amplificador Raman

c. Regeneración óptica.

Como ya se describía en los puntos anteriores, desafortunadamente la amplificación óptica añade ruido e impurezas, por lo que reduce la relación señal/ruido (OSNR).

Los amplificadores ópticos pueden ampliar el alcance óptico a través de una fibra monomodo de aproximadamente 100 km hasta 800 km, e incluso hasta 1 500 km, si el enlace dispone de corrección de errores (FEC) y dependiendo de la densidad de canales y el tipo de servicio.

Para mayores distancias, es conveniente que se deba de realizar una conversión de la señal del dominio óptico al eléctrico, amplifican la señal eléctrica, resincronizarla, recuperar su forma y realizar una conversión del dominio eléctrico al óptico. Atendiendo al procesado que se efectúa sobre una señal, los regeneradores se clasifican en tres tipos, como se muestra en la Figura 18 obtenida del libro “*The Transmode Way*”:

- **1R: *Regeneration*.** Amplificación de la señal. Son por tanto transparentes al formato de la modulación y se pueden aplicar a señales analógicas. Por contra, añaden ruido y no contrarrestan los efectos de la dispersión y de las no linealidades.
- **2R: *Regeneration & Reshaping*.** Además de amplificar, se recupera de la forma de la señal. Por tanto sólo son aptos para señales digitales.
- **3R: *Regeneration, Reshaping & Reclocking*.** Además de amplificar y regenerar la señal, la sincroniza. Este tipo de regeneradores cancela los efectos de las no linealidades y de la dispersión.

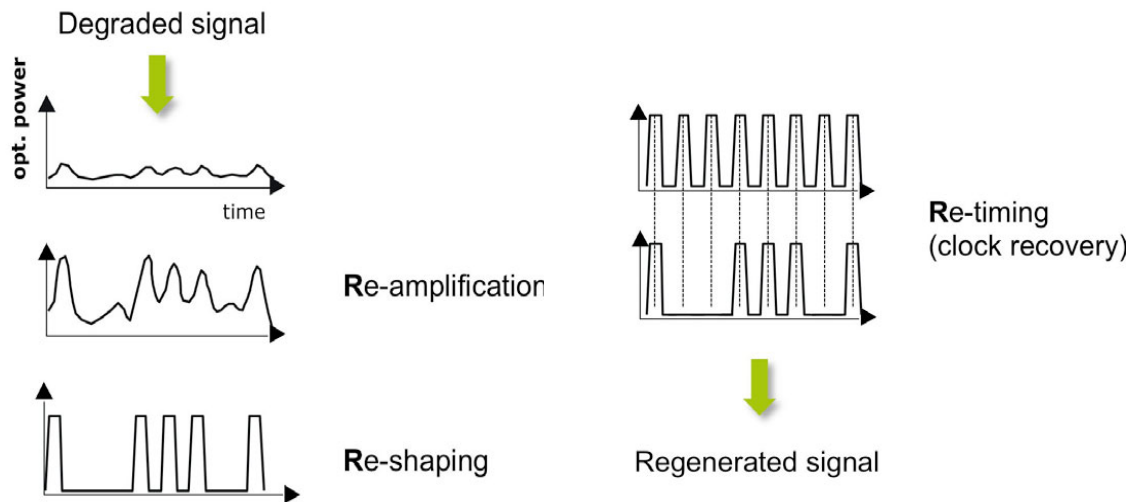


Figura 18. Regeneración 3R

vii) Receptores o Fotodetectores

El detector básicamente es un dispositivo que convierte fotones en electrones. Por lo tanto, el fotodetector es el elemento que convierte la señal óptica, procedente del láser emisor, en señal eléctrica. Se trata entonces, de un transductor óptico-electrónico.

Existen varios tipos de fotorreceptores pero, la mayor parte de sistemas de fibra óptica instalados utilizan fotodiodos PIN y los fotodiodos de avalancha (APD)

a. Fotodiodos PIN

El fotodiodo PIN es el detector más utilizado en los sistemas de comunicaciones ópticas. Es relativamente fácil de fabricar, altamente fiable, tiene bajo ruido y es compatible con circuitos amplificadores de tensión. Además es sensible a un gran ancho de banda debido a que no tiene mecanismo de ganancia.

El diodo PIN se compone básicamente de unas zonas “p” y “n” altamente conductoras junto a una zona intrínseca poco conductiva. Entre la zona p (huecos) y n (electrones) se intercala una zona intrínseca formada por un compuesto de InGaAs donde se generan pares electrón-hueco cuando colisionan fotones en dicha zona.

Para conseguir la generación de pares electrón-hueco, el diodo PIN debe de estar polarizado en inversa con el fin de que las cargas generadas en la zona

intrínseca sean aceleradas por el campo eléctrico presente entre las zonas p y n. Esto crea un flujo de corriente, proporcional al número de fotones captados (energía luminosa recibida), que se dirige a los electrodos. El proceso es rápido y eficiente. Como no hay mecanismo de ganancia, la máxima eficiencia es la unidad y el producto ganancia por ancho de banda coincide con ésta última.

En la Figura 19 se representa una sección del semiconductor PIN y su circuito eléctrico equivalente.

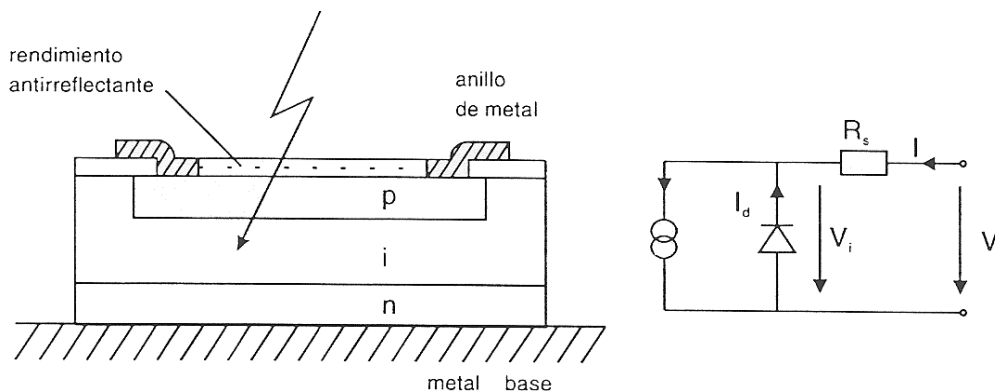


Figura 19. Sección de un diodo PIN y esquema eléctrico equivalente.

b. Fotodiodos APD

El fotodiodo de avalancha APD es similar al fotodiodo PIN en cuanto a que trabaja polarizado en inversa. Pero a diferencia de los diodos PIN, los APD tienen que ser polarizados a un alto voltaje (150-300 V) para conseguir el efecto de avalancha.

El efecto avalancha se alcanza cuando el campo eléctrico creado por la elevada tensión acelera fuertemente los portadores, presentes en la zona intrínseca, de manera que colisionan con átomos que componen la estructura cristalina del semiconductor.

Las colisiones ionizan los átomos, produciéndose nuevos pares electrón-hueco, debido a que los portadores llevan la suficiente energía para que los electrones pasen de la banda de valencia a la banda de conducción. Estos portadores secundarios a su vez vuelven a generar más portadores, repitiéndose el proceso efecto avalancha. Esta ionización por impacto determina la ganancia interna del dispositivo o ganancia de avalancha.

Se muestra en la Figura 20 el esquema general del fotodetector APD

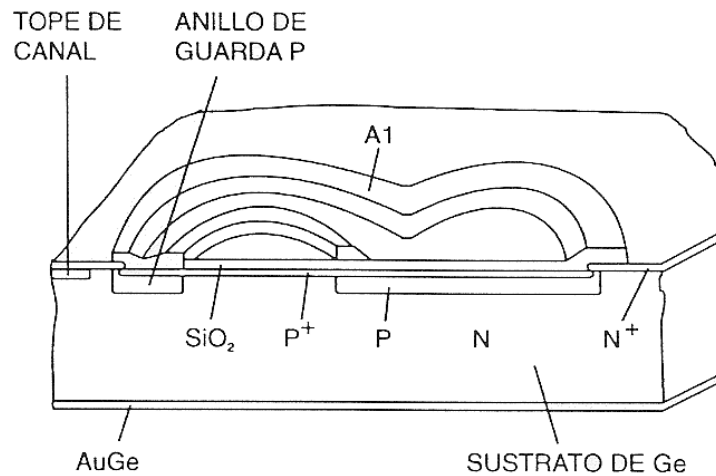


Figura 20. Estructura de un fotoreceptor APD.

De hecho, el efecto de avalancha en los fotodiodos APD puede entenderse como una amplificación de la corriente M generada por los fotones que inciden en el dispositivo.

La ganancia de un APD tiene influencia sobre el ancho de banda. El máximo ancho de banda se da para ganancia unidad. Con ganancias más elevadas, el ancho de banda se reduce debido al tiempo necesario para que se forme la fotoavalancha.

A causa de su mayor ganancia los APD tienen mayor sensibilidad que los diodos PIN, esto los hace muy atractivos para receptores de comunicación.

A pesar de sus inmejorables propiedades de sensibilidad y ancho de banda existen ciertas limitaciones que se tienen que tener presentes a la hora de realizar un diseño:

El factor de multiplicación M de la Figura (21) depende fuertemente del voltaje inverso aplicado y de la temperatura, lo que hace difícil alcanzar una ganancia estable. Un compromiso típico entre la ganancia y la estabilidad es M entre 50 y 100

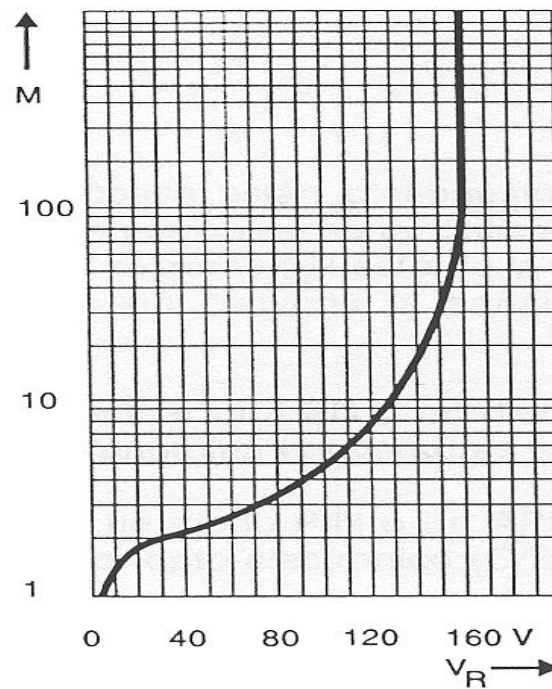


Figura 21. Factor de multiplicación del APD en función de V .

Otro inconveniente es la falta de linealidad debido a la caída de tensión en la resistencia de carga y de la dependencia de M con el voltaje.

Cuando no hay luz también se genera corriente, la denominada corriente de oscuridad esto da lugar a un ruido adicional y limita el nivel de detección de mínimo. La corriente de oscuridad también depende del voltaje aplicado y, por lo tanto, del factor de multiplicación.

En conclusión, los APD son muy buenos receptores en cuanto a sensibilidad y ancho de banda, pero requieren una cierta complejidad en su polarización. Debe de aplicarse tensiones elevadas para conseguir el factor de multiplicación M . También es necesaria una cuidada polarización, realimentación y, a veces, estabilización de la temperatura para prevenir averías o sobrecargas.

4.5. Tipos de tecnología WDM

i) Ventanas de transmisión.

El auge de la fibra óptica está estrechamente ligado al uso de una región específica del espectro óptico donde la atenuación óptica es baja. Estas regiones, llamadas ventanas, se ubican en áreas de alta absorción.

La Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) designa 6 bandas espectrales las cuales a su vez, son utilizadas para definir las características de la fibra óptica y de los equipos destinados a la implementación del sistema de comunicaciones ópticas (Amplificadores, multiplexores, etc).

Los primeros sistemas en ser desarrollados comprendían las longitudes de onda de 800 a 900nm lo que puede ser considerado como la primera ventana en fibra óptica, sin embargo, las pérdidas de esta región son elevadas quedando su uso reducido a comunicaciones de distancias físicas cortas.

En la Figura 22, procedente de la empresa “a2net” se representa la división de las ventanas de transmisión.

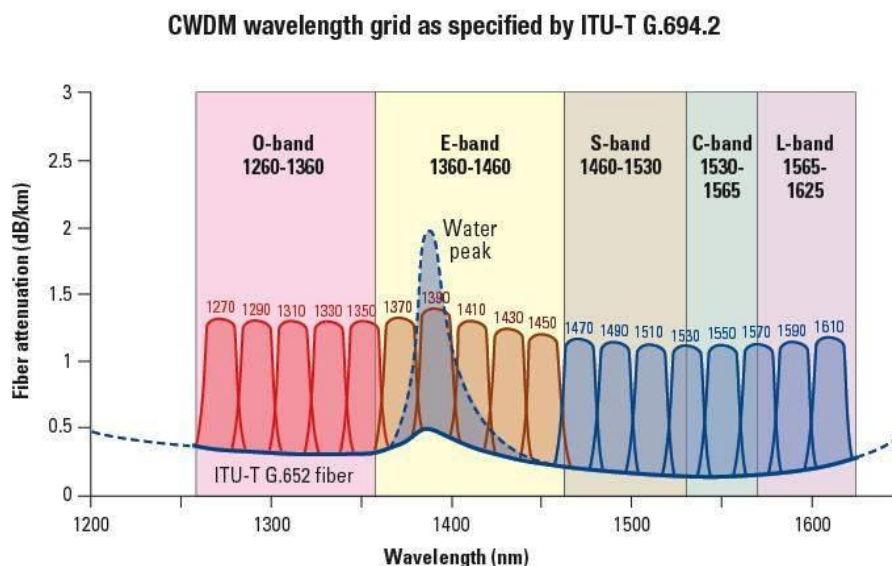


Figura 22. Esquema ventanas de transmisión.

Las ventanas de transmisión están definidas de la siguiente manera:

- Banda Original (O-Band): definida entre los 1260 a los 1360nm
- Banda Extendida (E-Band): definida entre los 1360 a los 1460nm
- Banda Corta (S-Band): definida entre los 1460 a los 1530nm
- Banda Convencional (C-Band): definida entre los 1530 a los 1565nm
- Banda Larga (L-Band): definida entre los 1565 a los 1625nm.
- Banda Ultra Larga (U-Band): definida entre los 1625 a los 1675nm

ii) Tipos de fibra óptica.

El auge de la fibra óptica está estrechamente ligado al uso de una región específica del espectro óptico donde la atenuación óptica es baja. Estas regiones, llamadas ventanas, se ubican en áreas de alta absorción.

Las primeras fibras comerciales obtenidas eran del tipo Multimodo y operaban a 850nm, las mismas se caracterizaban por un coeficiente de atenuación relativamente alto a su vez que la frecuencia de operación estaba por debajo de 1Ghz a distancias máximas de unos 10km sin necesidad de utilizar amplificador, actualmente, este tipo de fibras operan en Redes de Área Local (LAN) hasta 1Gbits/s y presentan la ventaja de un menor costo, además de que pueden utilizar como fuente de luz un dispositivo relativamente barato como el diodo emisor de luz. (LED).

La segunda generación trabaja a 1300nm y desde el punto de vista tecnológico se les conocen como Fibras Multimodo de Índice Gradual, las cuales logran una atenuación muy baja, típicamente inferior a los 0.4dB/km, así como mayor ancho de banda, operando a un poco más de 2,5Gbps, preferiblemente utilizan fuentes de luz Láser y se aplican en redes de larga distancia con tramos de amplificación de aproximadamente 50km.

La tercera generación es la más importante porque es un tipo de Fibra Monomodo de altas prestaciones que puede operar en 1300nm y 1550nm, con atenuación por debajo de 0.3dB/km y un ancho de banda que le permite alcanzar más de 10Gbps, con tramos de repetición de 100 km aproximadamente. Requiere necesariamente el empleo de fuente de láser en sus diferentes alternativas comerciales.

Los sistemas WDM actuales trabajan en banda C y L (1530-1610 nm) pero ya se están desarrollando fibras que trabajen en cuarta ventana (1625 nm). La tendencia, forzada por la necesidad de aumentar al máximo la capacidad de transmisión, es la de utilizar cada vez mayor parte del espectro óptico. En este sentido ya se están fabricando fibras ópticas que minimizan las pérdidas debidas a la absorción de las moléculas de agua en el entorno de 1470 nm de manera que también sea posible utilizar esta banda (quinta ventana).

Dentro de las fibras monomodo, el tipo más común definido como el estándar de la fibra monomodo. La Unión de la Telecomunicación Internacional (ITU) la cual es un cuerpo de regularización global para los sistemas de la telecomunicación y vendedores, define diferentes tipos de fibras. Algunas de las fibras descritas en el proceso de regularización para las redes ópticas incluyen la nondispersion-shifted (G.652), dispersion-shifted (G.653), 1550-nm loss minimized (G.654), and nonzero-dispersion fiber (G.655).

- **Nondispersion-Shifted Fiber (ITU-T G.652 Recommendation)**

Este tipo de fibra monomodo también se llama la fibra monomodo estándar, y es la fibra normalmente desplegada.

El desarrollo de estas fibras se realiza principalmente para la región de 1310 nm y disponen de una respuesta de “cero dispersión” de longitud de onda a 1310 nm. También es posible utilizar este tipo de fibra en las regiones de 1550 nm pese a no ser su objetivo.

La dispersión cromática a 1550 nm es alta (el 18ps/nm-km), y para altas tasas de transferencia, es requerido aplicar compensaciones de dispersión.

- **Dispersion-Shifted Fiber (ITU-T G.653)**

En la Dispersion-Shifted Fiber, la longitud de onda de “cero dispersión” es de 1550 nm.

Las fibras dispersion-shifted se utilizan para operar en la región entre 1500-1600 nm. Cuando este tipo de fibra fue desarrollado, el objetivo era aprovecharse del uso de amplificadores EDFA y operar con canal múltiple en los sistemas de DWDM.

- **ITU G.654 (Pérdida Minimizada a 1550 nm)**

Este tipo de fibra es un caso especial del estándar de fibra monomodo, la cual otorga una pérdida reducida en la ventana de 1550 nm.

ITU G.654 se desarrolla para la región 1500-1600 nm. Para disponer de una pérdida baja, se desarrolla mediante un núcleo de silicio puro. Las fibras de ITU G.654 son caras en la fabricación y raramente se usan. Estos tipos de fibras podrían satisfacer de forma óptima un enlace submarino y los escenarios de ultra larga distancia.

- **Nonzero Dispersion-Shifted Fiber (G.655)**

Las fibras Nonzero dispersion-shifted (NZDSFs) presentan una dispersión cromática de valor no nulo a lo largo de la banda C (1500 nm). Esta dispersión reduce el efecto no lineal, como el four-way mixing, modulación de self-phase, o modulación de cross-phase que se ven en los sistemas de DWDM. Estos tipos de fibras están mejor preparados y perfeccionados para operar entre 1500-1600 nm.

En la Tabla VIII, procedente de la web de la empresa “radioenlace”, se muestra la distancia máxima de un enlace para distintos tipos de fibra óptica a distintas longitudes de onda.

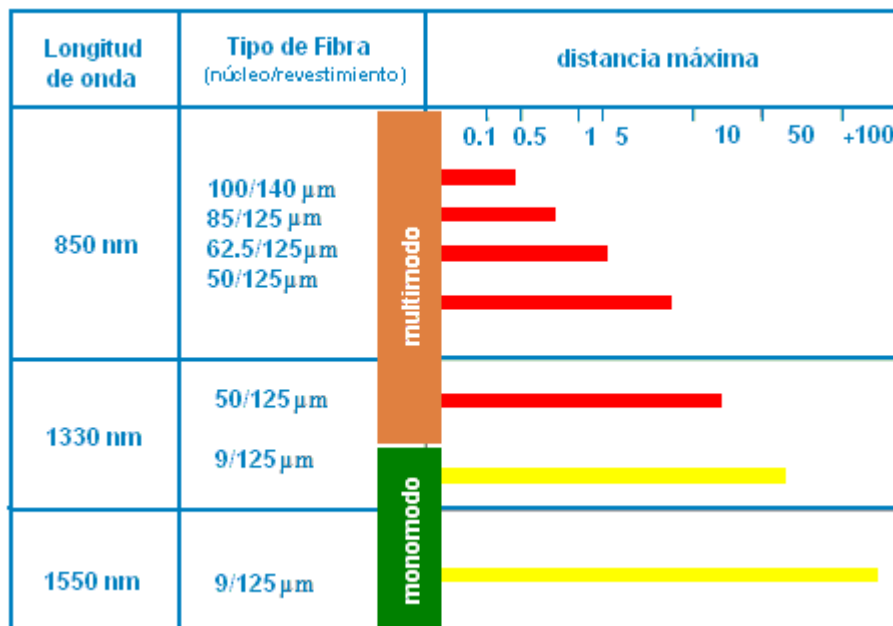


Tabla. VIII. Esquema comparativo comportamiento fibra.

iii) Asignación de longitudes de Onda.

La UIT para que las separaciones entre canales sea la adecuada estableció algunas “recomendaciones” para el trabajo con esta tecnología, las cuales vienen descritas en la UIT-T G.692 y que establece condiciones el trabajo y posterior aplicación de esta tecnología.

También se establecen otras recomendaciones en el ámbito DWDM y CWDM las cuales son:

- G.694.1 **Tecnología DWDM**. Más de 16 canales, en la cual se establecen bandas de trabajo en la S, C, y L. Con separaciones entre canales de 0.8 nm (100GHz), 0.4 nm (50 GHz), 0,2 nm (25GHz) y próximamente 12,5GHz.
- G.694.2 **Tecnología CWDM**. 16 canales separados entre sí por 20 nm dentro de las Bandas S, C y L.

A continuación se puede ver en la Figura 23 un esquema general de la separación en CWDM y en DWDM.

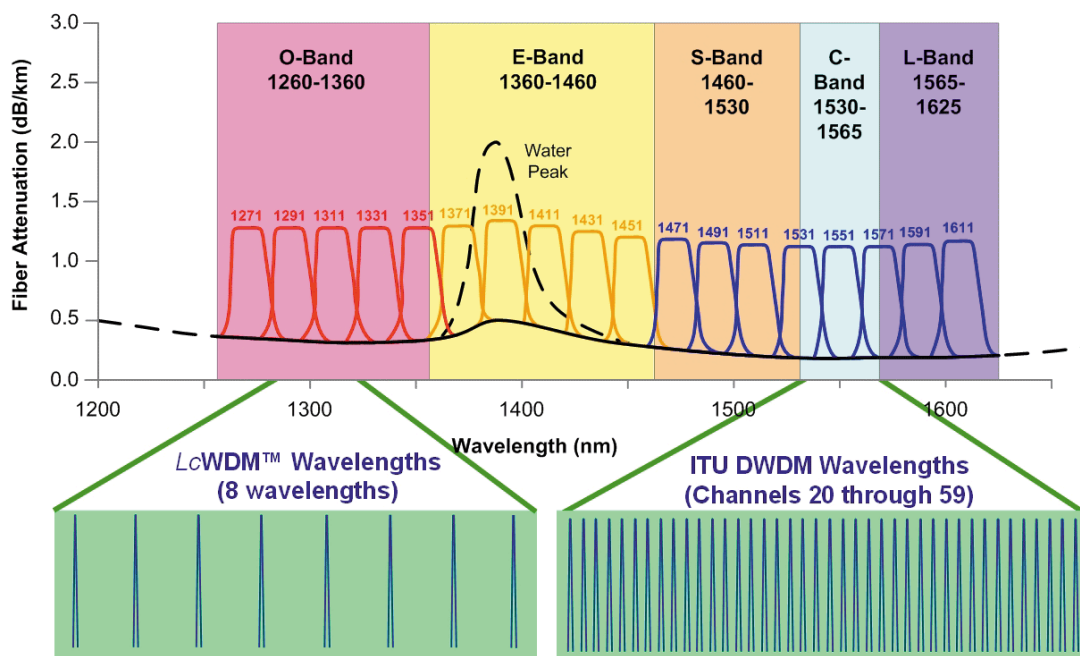


Figura 23. Esquema ventanas de transmisión CWDM y DWDM.

iv) CWDM y DWDM.

Como se ha expuesto en el punto anterior, en WDM se distinguen principalmente dos familias de sistemas: DWDM y CWDM. Utilizan componentes ópticos distintos, siendo más complejos y costosos aquellos que soportan mayores capacidades por canal y agregado, y los que soportan mayores distancias de transmisión:

- CWDM: (Coarse wavelength Division Multiplexing), que significa Multiplexación por división en longitudes de onda ligeras.
- DWDM: (Dense wavelength Division Multiplexing), que significa Multiplexación por división en longitudes de onda densas.

En principio CWDM puede coincidir con las funciones básicas y principales con DWDM, pero dispone de menor capacidad y coste. CWDM permite que las operadoras puedan responder con flexibilidad a las necesidades de los distintos clientes en regiones metropolitanas en donde la fibra de planta externa instalada es un bien escaso y muy demandado.

En cuanto al número de longitudes de onda, mientras en DWDM se utilizan hasta 240 en CWDM se suelen utilizar hasta 16.

Mientras los sistemas DWDM de larga y ultralarga distancia soportan canales de hasta 40 Gbps y ya se está experimentando con 100 GHz sobre una sola λ , la mayoría de los sistemas DWDM metropolitanos soportan hasta 16 Gbps y los CWDM actuales tienen su límite en 4,5 Gbps.

Por lo tanto, de acuerdo a lo descrito, es lógico pensar que CWDM y DWDM actuarán en escenarios diferentes. En la Tabla IX, procedente de la página web del fabricante "Transmode", se muestra en que escenarios, de acuerdo a la densidad de canales frente a la distancia de los enlaces.

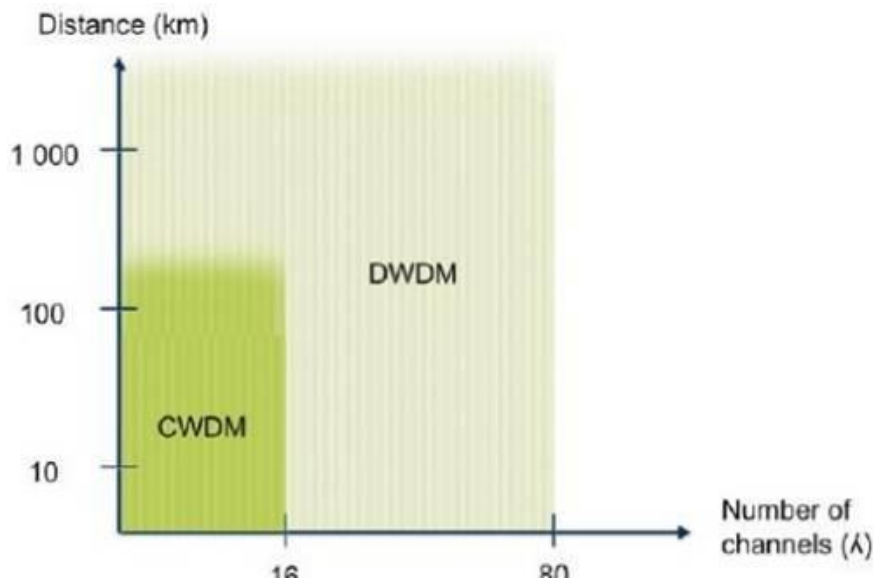


Tabla. IX. Dónde aplica CWDM y DWDM.

a. CWDM

Las longitudes de onda utilizables por los sistemas CWDM fueron estandarizadas por la ITU-T en el año 2002. La norma, denominada ITU-T G.694.2, se basa en una separación de longitudes de onda de 20 nm (o 2.500 GHz) en el rango de 1.270 a 1.610 nm; pudiendo así transportar hasta 32 longitudes de onda en una única fibra óptica monomodo.

La tecnología de CWDM permite el uso de un solo hilo de la fibra para admitir varias topologías de red y velocidades de datos a fin de aumentar exponencialmente la capacidad de ancho de banda y proporcionar la capacidad de agregar nuevos clientes sin necesidad de tender un nuevo cable de fibra óptica entre sitios. De acuerdo con esto, se tienen dos importantes características inherentes a los sistemas CWDM que permiten emplear componentes ópticos más sencillos y, por lo tanto, también más baratos que en los sistemas DWDM.

Mayor espaciamiento de longitudes de onda;

De esta forma, en CWDM se pueden utilizar láseres con un mayor ancho de bandas espectrales y no estabilizadas, es decir, que la longitud de onda central puede desplazarse debido a imperfecciones de fabricación o a cambios en la temperatura a la que está sometido el láser y, aún así, estar en banda. Esto permite fabricar láseres

siguiendo procesos de fabricación menos críticos que los utilizados en DWDM, y que dichos láseres no tengan sofisticados circuitos de refrigeración para corregir posibles desviaciones de la longitud de onda debidos a cambios en la temperatura a la que está sometido el chip; lo cual reduce sensiblemente el espacio ocupado por el chip y el consumo de potencia, además del coste de fabricación.

Por lo general en CWDM se utilizan láseres de realimentación distribuida o DFB (DistributedFeed-Back) modulados directamente y soportando velocidades de canal de hasta 4,5 Gbps sobre distancias de hasta 80 km en el caso de utilizar fibra óptica G.652.

Por otro lado, CWDM utiliza filtros ópticos y multiplexores basados en la tecnología TFF (Thin- Film-Filter), donde el número de capas del filtro se incrementa cuando el espaciamiento entre canales es menor. Esto supone de nuevo una mayor capacidad de integración y una reducción de coste. Estos filtros CWDM de banda ancha, admiten variaciones en la longitud de onda nominal de la fuente de hasta unos $\pm 6-7$ nm y están disponibles generalmente como filtros de uno o dos canales.

Mayor espectro óptico:

Esto, que permite que el número de canales susceptibles de ser utilizados no se vea radicalmente disminuido a pesar de aumentar la separación entre ellos, es posible porque en CWDM no se utilizan amplificadores ópticos EDFA como ocurre en DWDM para distancias superiores a 80 km. El coste de la opto-electrónica en CWDM es tal, que es más simple y más económico regenerar que amplificar.

Por otro lado, puesto que los regeneradores realizan por completo las funciones de amplificación, reconstrucción de la forma de la señal, y temporización de la señal de salida, compensan toda la dispersión acumulada

Además, CWDM es muy sencillo en cuanto a diseño de red, implementación, y operación. CWDM trabaja con pocos parámetros que necesiten la optimización por parte del usuario, mientras que los sistemas DWDM requieren de complejos cálculos de balance de potencias por canal, algo que se complica aún más cuando se añaden y extraen canales o cuando DWDM es utilizado en redes en anillo, sobre todo cuando los sistemas incorporan amplificadores ópticos.

DWDM utiliza componentes ópticos más complejos, de mayores distancias de transmisión y más caros que CWDM, la cual está desarrollada especialmente para zonas metropolitanas, ofreciendo anchos de banda relativamente altos a un coste mucho más bajo, esto debido a los componentes ópticos de menor complejidad, limitada capacidad y distancia, por lo cual es la más competitiva a corta distancia.

b. DWDM

Los rápidos avances producidos en DWDM, junto con la creciente demanda de servicios de alta velocidad y de gran ancho de banda, están provocando cambios sustanciales en las arquitecturas de las redes ópticas. Así, la tecnología DWDM se está expandiendo progresivamente desde el núcleo de las redes ópticas de alta velocidad hacia las redes metropolitanas y de acceso. Todo ello provocado por el éxito alcanzado por las soluciones DWDM de largo alcance que han permitido un aumento exponencial en la capacidad de las redes ópticas de transporte.

De hecho, se ha observado que la introducción de tecnología DWDM en las redes ópticas metropolitanas produce grandes beneficios en cuanto a coste, flexibilidad y eficiencia además, se debe destacar las ventajas adicionales que conlleva la introducción de redes ópticas transparentes en el ámbito de las redes regionales y metropolitanas. Una red óptica transparente hace referencia a una red que mantiene el tráfico en el dominio óptico, es decir, sin ningún tipo de conversión OEO (óptica-eléctrica-óptica) en ninguno de sus nodos.

La ITU, ha estandarizado la separación de los canales usados en sistemas DWDM: esta separación corresponde aproximadamente a un mínimo de 100 GHz en el dominio de las frecuencias, que corresponde a 0.8 nm en el dominio de longitudes de onda, en la región de los 1550 nm, donde la fibra posee la mínima atenuación. También se establecen las siguientes separaciones entre canales: 0.4 nm (50 GHz), 0,2 nm (25GHz) y próximamente 12,5GHz.

A diferencia del CWDM, en DWDM se consiguen mayor número de canales ópticos reduciendo la dispersión cromática de cada canal mediante el uso de un láser de mayor calidad, fibras de baja dispersión o mediante el uso de módulos DCM "Dispersion Compensation Modules". De esta manera es posible combinar más canales reduciendo el espacio entre ellos. Actualmente se pueden conseguir 40, 80 o 160 canales ópticos separados entre sí 100 GHz, 50 GHz o 25 GHz respectivamente.

El medio de transmisión utilizado en DWDM es la fibra óptica y, en concreto, la fibra óptica monomodo. La fibra óptica monomodo, además de soportar mayores anchos de banda que el resto medios de transmisión de señales, ofrece otras muchas ventajas: baja atenuación, fácil instalación, inmunidad a interferencias electromagnéticas, alta seguridad de la señal, posibilidad de integración, etc.

La fibra óptima para trabajar con sistemas DWDM es la G.655 o NZDSF (Non Zero DispersionShiftedFibre); aunque con canales de 2,5 Gbps, la DWDM se adapta perfectamente a la fibra convencional G.652 o SMF (Standard Single ModeFibre), que resulta mucho más barata y es la utilizada en la mayor parte de las instalaciones hasta la actualidad.

En comparación con DWDM, los sistemas CWDM proporcionan ahorros del orden de un 35% a 65%. El ahorro proporcionado por CWDM se debe a la reducción de costes de los láseres sin necesidad de control de temperatura y al menor precio de los multiplexores y demultiplexores pasivos. Básicamente, la mayor separación entre canales de los sistemas CWDM permite que las longitudes de onda de los láseres DFB puedan sufrir derivas con los cambios de temperatura, evitando de este modo la necesidad de emplear controladores de temperatura.

5. Aplicación WDM en las Redes de Telecomunicación.



Diseño e implementación de un sistema WDM mediante equipamiento de Fibernet



Hoy en día las redes de telecomunicaciones son relativamente heterogéneas, esto es consecuencia de la evolución del hardware de transmisión, así como de los métodos de operación, los cuales han sido progresivamente modificados para buscar solventar los diferentes requerimientos del servicio.

Los operadores introducen nuevos servicios, entre ellos; vídeo conferencia, servicios de entretenimiento, el vídeo interactivo, servicios de información bancaria, la transferencia de datos entre Centros de Procesado de Datos y otro tipo de servicios que requieren de un gran ancho de banda, mínima latencia y una gran flexibilidad y escalabilidad.

El transporte de datos sobre una infraestructura óptica no sólo consigue minimizar los tiempos de transmisión de la información sino también aprovechar al máximo los recursos disponibles. De esta forma, diversos servicios multiprotocolo comparten el medio físico sin que por ello se vea mermada la calidad de los mismos ni se vea incrementada la latencia en la entrega.

5.1. Storage Area Networks (Redes de Almacenamiento)

Las empresas afrontan su estrategia de continuidad de negocio reduciendo al mínimo los posibles riesgos que puedan darse.

Estos riesgos están asociados al cumplimiento de la legislación, a la criticidad operacional de las aplicaciones – especialmente aplicaciones síncronas en las que la latencia debe ser mínima – y al aumento de la seguridad de los datos y los requerimientos de disponibilidad.

Las necesidades principales a cubrir en este tipo de escenario son:

- Necesidad de proteger la información y tener acceso permanente a las aplicaciones más críticas para el negocio (requisitos que, dependiendo del negocio y la legislación local, son de obligado cumplimiento).
- Las aplicaciones de contingencia de la información (especialmente las aplicaciones financieras) son extremadamente sensibles a la latencia.

- Necesidad de realizar copias síncronas de datos. Asegurar que todo dato escrito en el CPD principal también se escribe en el CPD de respaldo antes de continuar con cualquier otra operación → Necesidad de no introducir latencia.

Para responder a estos retos, así como al incremento de la demanda de mayores anchos de banda, es posible dotar de una solución WDM para realizar la interconexión de Data Center tal y como se muestra en la Figura 24

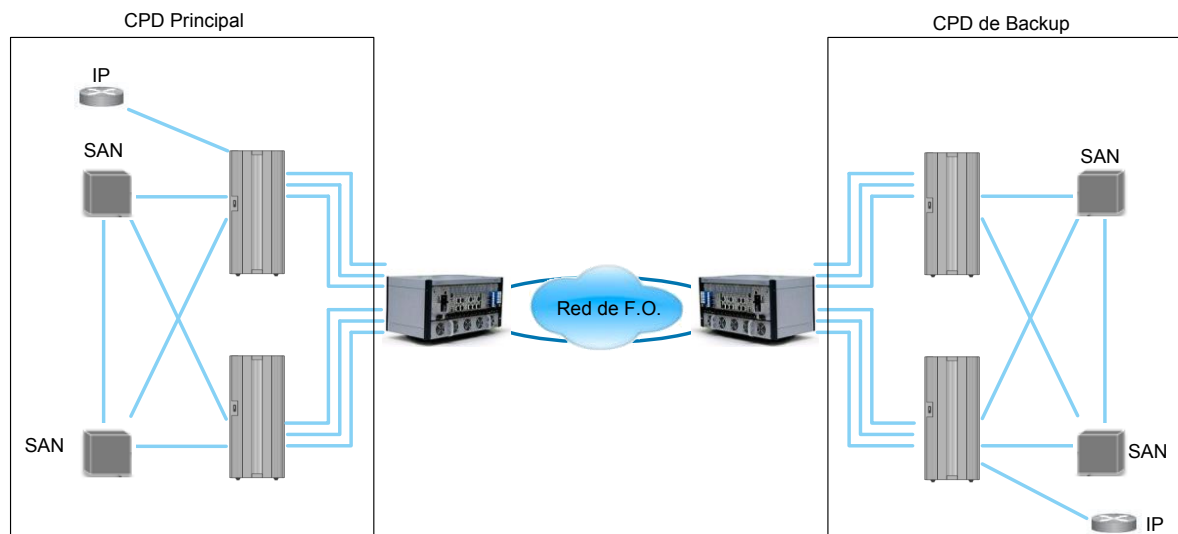


Figura 24. Esquema interconexión entre CPD

Los centros de datos se conectarán por fibra privada y dedicada, por motivos de necesidad de privacidad y confidencialidad de la información y por requisitos técnicos de implementación de sincronismo, producción y contingencia entre CPDs.

Los sistemas de comunicación óptica que concentraran el transporte de los servicios a través de la fibra serán habitualmente sistemas DWDM, que ofrezcan gran densidad de servicios simultáneos sin sobresubscripción, escalabilidad, transparencia en el transporte y doten de redundancia de la conexión entre los centros (HW y de ruta de fibra) para disponer de una alta disponibilidad de la información.

5.2. Extensión LAN/SAN sobre la fibra óptica

Actualmente, el intercambio de información entre las empresas está en continuo aumento. Esto se traduce en un crecimiento significativo de tráfico más allá del tráfico LAN o de la parte de almacenamiento SAN. Por ello surge la necesidad de extender las infraestructuras LAN mediante la interconexión de nodos remotos.

Sin embargo, cada organización tiene sus propias necesidades en cuanto a conectividad y rendimiento.

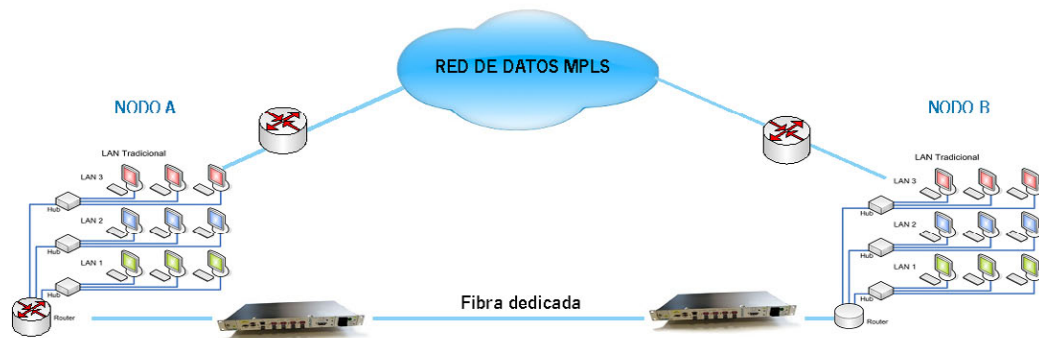


Figura 25. Esquema extensión LAN/SAN

Esta solución, representada en la Figura 25 permitirá un crecimiento transparente ya que permite un mayor crecimiento en servicios sin necesidad de reorganización y asignación de ingeniería óptica en la red del cliente. El cliente proporciona los servicios a transportar en banda base y el equipamiento multiplexor convertirá la señal a una frecuencia de línea C/DWDM para multiplexarla por la fibra óptica.

Se dota de una jerarquización de la infraestructura del cliente, una separación entre entorno de transmisión y equipamiento de red/sistemas del cliente. De este modo, la infraestructura es menos dependiente de los fabricantes ya que la infraestructura LAN/SAN permanece transparente a los cambios en la infraestructura de transmisión, lo que permite una mayor capacidad de crecimiento sin necesidad de cambiar el equipamiento.

Se establece además un ancho de banda dedicado para cada uno de los servicios procedentes de la red de usuario.

5.3. “Backhaul” móvil

En los últimos años, se ha producido una notable evolución en el suministro de servicios de voz y datos 2G y 3G, Internet y mail, lo que ha catapultado la oferta de servicios tales como contenido multimedia, juegos, TV broadcasting, así como un aumento en la navegación Web.

Para abarcar el presente y futuro de las nuevas necesidades de ancho de banda, las infraestructuras de red de los operadores requerirán de una mayor capacidad que les permita proporcionar múltiples interfaces para enlaces FE, interconexiones GE, nodos/BTS 2G (nxE1), nodos 3G (nx10/100 Base-T), MSC/BSC (nxE1), RNC 3G (nx10/100 Base-T) y migraciones no abruptas de 2G/3G a 4G/LTE.

Para ello, es posible utilizar la tecnología WDM, puesto que, además de permitir mayor capacidad de transmisión, es totalmente transparente a niveles superiores. El esquema general se muestra en la Figura 26

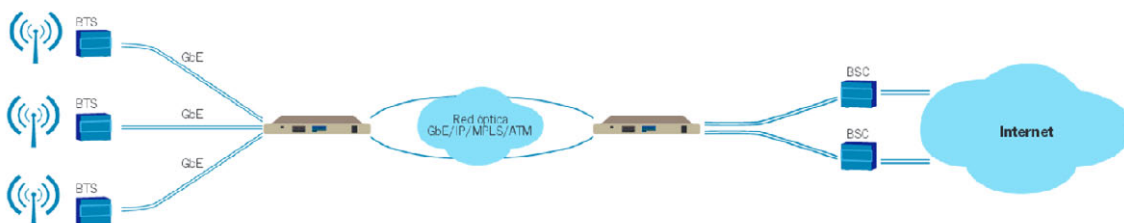


Figura 26. Esquema “backhaul” móvil

5.4. Servicios sobre Redes de Operadora

Actualmente se puede encontrar el escenario donde, un cliente, quiera realizar un intercambio de una alta capacidad de información entre sedes que se encuentran a varios cientos de kilómetros. Dicha interconexión, por limitaciones geográficas, (como puede ser distancia, orográficas, interconexión entre dos islas, etc) no es posible realizarla mediante fibra dedicada o dedicada.

A pesar de que las redes SDH no son comparables con las redes WDM en términos de capacidad, latencia o complejidad en la gestión, pueden llegar presentarse como una solución óptima que garantiza una mínima inversión para las operadoras.

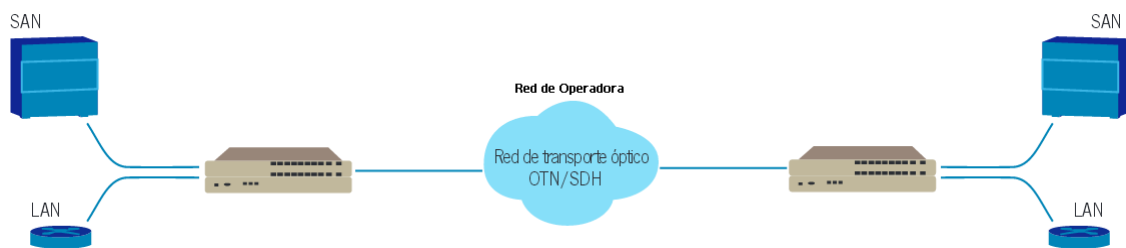


Figura 27. Esquema interconexión con RTLD

Para afrontar la demanda de las operadoras, es posible proporcionar soluciones específicas para el transporte de servicios de forma transparente dentro de la tecnología Carrier o Red de Transporte de Larga Distancia de la operadora, tal y como se observa en la Figura 27.

Es posible implementar un nodo de demarcación que se conecta directamente contra la red de la operadora.

Los servicios pueden entregarse a la RTLD en banda base, sin necesidad de multiplexar y pueden ser servicios Ethernet, Fibre Channel, ESCON, FICON, Vídeo, etc.

En una red SDH, estos servicios son encapsulados en una trama STM-16 o STM-64 y entregados al nodo SDH, así como tecnologías OTN o SONET, aprovechando así la inversión inicial realizada por las operadoras.



Diseño e implementación de un sistema WDM mediante equipamiento de Fibernet



6. Diseño de redes WDM.



Diseño e implementación de un sistema WDM mediante equipamiento de Fibernet



6.1. Topologías y esquemas de protección

A la hora de contemplar la arquitectura de una red WDM se debe de tener en cuenta diversos factores, incluyendo tipos de aplicaciones y protocolos requeridos, distancia entre los nodos, estructura de acceso y las topologías.

En el mercado metropolitano, por ejemplo, las topologías punto-a-punto pueden ser implementadas para conectar sedes de empresas. La topología de anillo, puede considerarse para conectar instalaciones de varias oficinas de un mismo entorno geográfico y las topologías de malla que combina las dos anteriores.

La capa óptica puede ser capaz de soportar varias topologías y, debido al desarrollo impredecible que se puede dar en éste área, las topologías a presentar deben de disponer de flexibilidad a la hora de programar un crecimiento de la infraestructura de planta externa.

Hoy en día, las principales topologías en uso son la punto-a-punto y anillo.

i) Topología punto a punto.

En la topología punto a punto se caracteriza por el envío de servicios desde un nodo, mediante fibra dedicada, hacia el nodo localizado en el extremo remoto. En la Figura 28 se puede ver el esquema general del enlace punto a punto

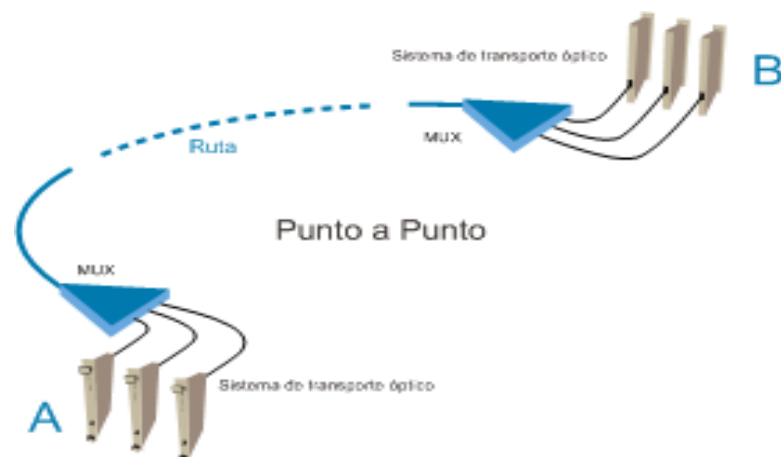


Figura 28. Esquema configuración punto a punto

Este tipo de configuraciones son requeridas en la conexión entre Centros de Procesado de Datos, debido que se requiere mantener la integridad de la información, así como evitar el máximo retardo posible debido a requisitos técnicos de implementación de sincronismo relativo a las copias de seguridad.

Para la protección con esta topología, es posible disponer de dos rutas o dos fibras que conecten con ambos nodos mediante dos caminos diferentes. En ambos nodos, se coloca un Switch Óptico que, en el caso de que una de las rutas falle, conmuta automáticamente los servicios por la ruta de respaldo. De esta manera, se dota de alta disponibilidad a la infraestructura. En la Figura 29 se puede ver el esquema general de dicho escenario.

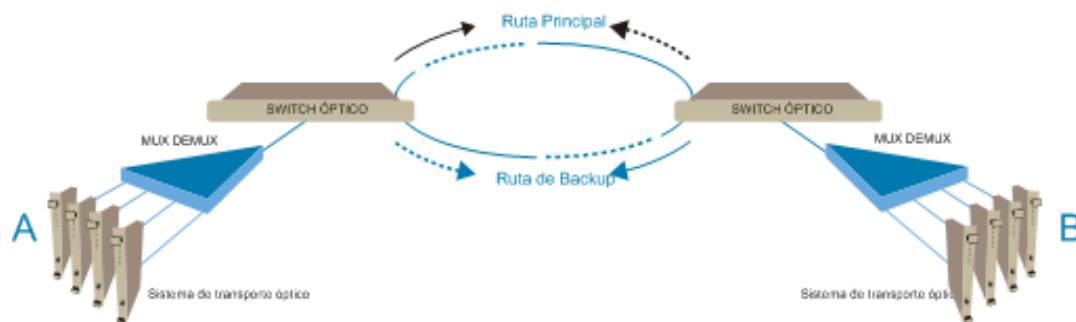


Figura 29. Esquema configuración punto a punto

ii) Topología en anillo.

Los anillos son las arquitecturas más comunes encontradas en áreas metropolitanas y en tramos de unas pocas decenas de kilómetros. Se basa en una interconexión física de fibra óptica que recorre varias sedes, realizando posteriormente, las interconexiones lógicas correspondientes. En la Figura 30 se puede ver un esquema habitual de dicha topología.

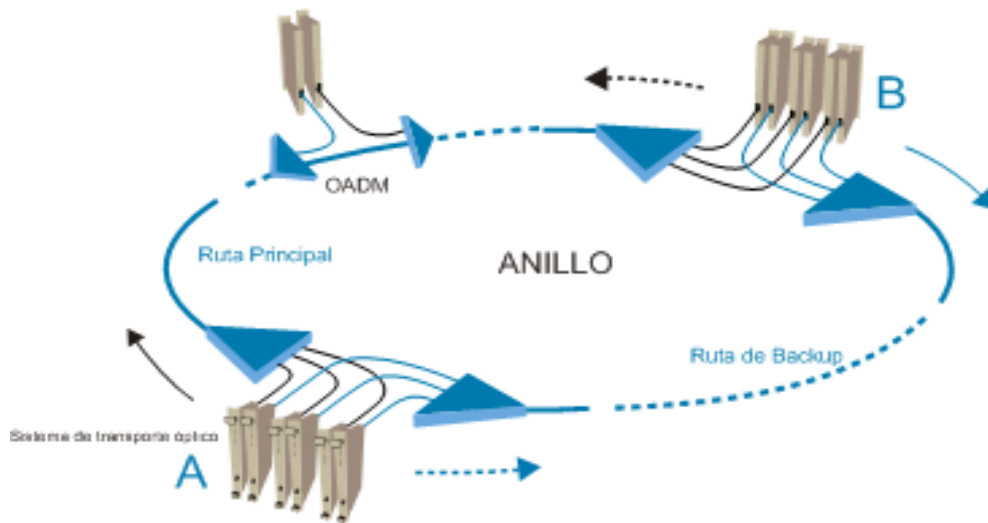


Figura 30. Esquema configuración punto a punto

En este caso, el uso de OADMs es fundamental, dividen y agrupan longitudes de onda de forma transparente, es decir, si en una sede un servicio del anillo no requiere conexión son dicha sede, éste no se ve afectado. Con el incremento en el número de OADMs, con la señal está sujeta a pérdidas de inserción y se pueden requerir amplificadores.

Para la protección en esta topología, habitualmente se utiliza el esquema 1+1, es decir se tienen dos líneas de conexión y opcionalmente, equipos independientes en cada enlace. La información se envía por una de ellas y si se produce un corte en la ruta, se realiza una conmutación enviando la información por la trayectoria al otro anillo.

6.2. Densidad de canales

Para realizar un buen dimensionamiento del sistema WDM se requiere conocer o analizar la densidad de canales que se requieren, así como las velocidades y protocolos que se desea transmitir. Esto es debido a que no es igual realizar un dimensionado para el uso de CWDM que para la implementación de DWDM. En la Figura 31 siguiente se puede una red habitual.

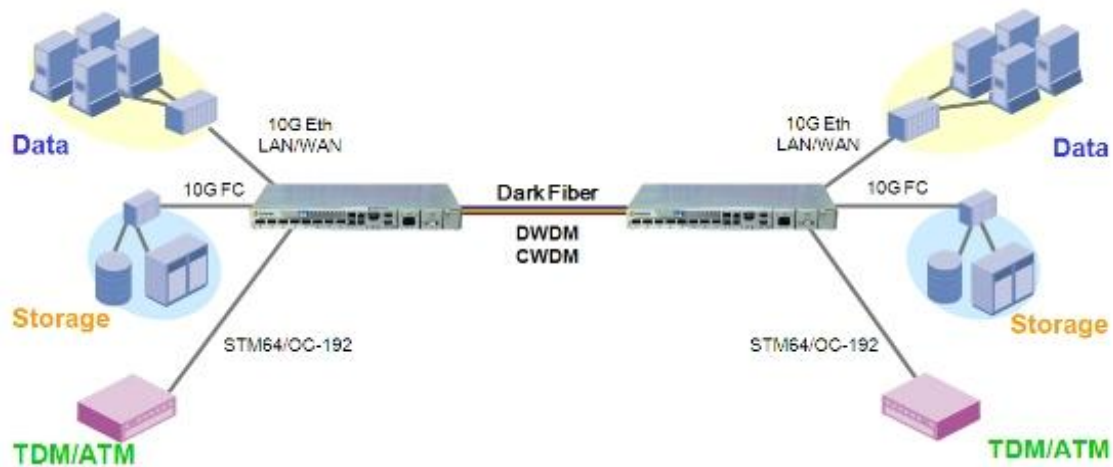


Figura 31. Esquema habitual de red WDM metropolitana

A continuación se muestran, a modo general las características de CWDM y DWDM acorde con el dimensionado de la red.

- **CWDM:**
 - Hasta 16 señales por fibra (8 canales bidireccionales) = 32 lambdas
 - Tecnología de menor coste para enlaces de acceso y metropolitanos.
 - Bajas velocidades
 - Espaciamiento CWDM – ITU-T 694.2
 - 2,5 THz / 20 nm
- **DWDM:**
 - Hasta 120 señales por fibra = 240 lambdas
 - Tecnología que permite altas velocidades 40Gbps, 100Gbps
 - Espaciamiento DWDM - ITU-T G.694.1:
 - 200 GHz / 1,6 nm
 - 100 GHz / 0,8 nm
 - 50 GHz / 0,4 nm

6.3. Afectación de Atenuación y Latencia

A la hora de realizar el diseño de la red WDM de acuerdo a las necesidades planteadas, es fundamental analizar los factores que afectan al escenario propuesto, por ello, los principales puntos a tener en cuenta serán:

- Atenuación
- Latencia de la señal
- Dispersión.

i) Atenuación

Dependiendo del escenario que se pretenda desplegar se dispondrá de diferentes limitaciones en cuanto a la atenuación. Del mismo modo, se tendrá que tener en consideración con que familia de productos se va a dar el servicio puesto que las características serán diferentes en cada fabricante.

La atenuación es un efecto que se percibe en la capa de transmisión (WDM) y debe ser corregida en esta capa. Si dicho efecto es resuelto en la capa de transmisión, no se percibirá en los protocolos superiores.

A parte de las propias pérdidas de señal, intrínseca de la fibra, teórica de 0,2dB/km, se debe de tener en cuenta en algunos tipos de configuraciones, como es en la de anillo, que se puede disponer de módulos ADD/DROP, por lo tanto hay prever una atenuación extra debido a la pérdida de inserción de dichos filtros ópticos.

La atenuación se puede salvar con la utilización de amplificadores ópticos, que se pueden instalar en transmisión y/o recepción.

Debido a efectos no lineales de la fibra como el Brillouin, se puede considerar que con los amplificadores ópticos se puede establecer el límite de atenuación en 35dB.

ii) Latencia

Dependiendo del tipo de servicio a transportar será más o menos sensible a la latencia (tiempo que tarda la señal en recorrer la distancia que separan los dos nodos).

Este valor es predecible teniendo como dato la distancia de la fibra óptica, puesto que dependerá de la velocidad de la luz y del índice de refracción de la fibra óptica. Se estima que el valor de latencia medio por km es de 5 microsegundos.

La latencia es un efecto que se percibe en los protocolos superiores y NO afecta en la capa WDM

iii) Dispersión Cromática

Existe una tolerancia máxima diferente en función de la velocidad de transmisión del servicio.

La dispersión cromática es un efecto lineal de la fibra óptica que se percibe en la capa de transmisión (WDM) y que NO se percibe en los protocolos superiores

La dispersión cromática se puede corregir insertando módulos de compensación de dispersión (DCM) en los enlaces.

Estos módulos de compensación introducen pérdidas de inserción a los sistemas, con lo que habrá que tenerlos en cuenta a la hora de realizar los cálculos de atenuación soportados.

6.4. Previsión de crecimiento

A la hora de realizar el diseño de una red WDM, se debe salvaguardar una de las principales características de dicha tecnología, la escalabilidad en densidad de canales.

Se debe de realizar un diseño donde el sistema sea escalable, ser posible incrementar la densidad de canales de forma modular añadiendo nuevas longitudes de onda, todo ello sobre la planta ya existente.

Del mismo modo, debe ser transparente, el diseño de los sistemas WDM debe de ser transparente a la electrónica de red del cliente, tipo de datos o velocidad de los mismos.

Debe de ser un sistema rápido y simple a la hora de realizar un aprovisionamiento dinámico de conexiones de red para dotar a los proveedores de la habilidad de proveer servicios de gran ancho de banda de una manera flexible y ágil.



Diseño e implementación de un sistema WDM mediante equipamiento de Fibernet



7. Despliegue de un sistema WDM

7.1. Requerimientos del cliente

i) Objeto del requerimiento.

Se requiere realizar la interconexión de los CPD (Centro Procesado de Datos principal y Centro de respaldo) principales a través de dos rutas diferentes de fibra dedicada/privada ya instalada, y dotar del equipamiento del transporte óptico WDM necesario para transportar los servicios correspondientes.

Del mismo modo, y al disponer de dos rutas de fibra óptica, se requiere que la infraestructura deba de estar dotada de un sistema de protección de ruta, otorgando una alta disponibilidad en el servicio, siendo requerimiento indispensable que la latencia de conmutación del Switch Óptico inferior a un tiempo de 50 ms.

Los multiplexores ópticos por división de longitud de onda (WDM) deberán soportar una variedad de configuraciones en cuanto a topología y densidad de canales.

ii) Alcance de la solución.

La propuesta recoge el suministro, instalación y mantenimiento de dos infraestructuras DWDM en Alta Disponibilidad para el transporte de 4 canales entre el Centro de Procesado Principal y un centro de Respaldo.

Del mismo modo, se dispone de dos rutas de fibra óptica entre ambos centros, por lo que se propone la instalación de un Switch Óptico con el fin de dotar de protección de ruta al sistema, garantizando así la disponibilidad de los servicios en caso de corte de la fibra.

Para ello, se propone una solución basada en equipamiento de la familia MUX+ de Fibernet.

Las características de la fibra que conecta los Data Center se describe a continuación en la siguiente Tabla X

RUTA	km de la fibra
Ruta A	25 km
Ruta B	25 km

Tabla. X. Kilómetros de las rutas de fibra óptica del sistema

iii) Requisitos técnicos.

La instalación deberá contemplar lo necesario, en las tarjetas y/o transceptores, para disponer de un sistema final con las siguientes características mostradas en la Tabla XII:

Nº Canales	Tipo	Velocidad
1	GbE	1 GbE
3	Fiber Channel	8 Gbps

Tabla. XI. Canales requeridos a transportar

Los sistemas deben incorporar módulos de monitorización de la calidad y detección de intrusión/manipulación en la fibra.

Los servicios se deberán proponer sobre canales ópticos de capacidad dedicada, no mediante canales TDM.

Los sistemas no deben introducir ninguna latencia. Únicamente se permitirá introducir la latencia intrínseca del medio de transmisión (latencia de 5 μ s/km es el valor.

Los sistemas deben poder ofrecer mecanismos de protección: redundancia de alimentación y redundancia de ruta óptica (protección 1:1 mediante switch óptico), siendo el tiempo de conmutación inferior a 50 ms con el fin de afectar lo mínimo posible a los servicios críticos del sistema.

A continuación, en la Figura 32, se muestra un esquema general del sistema requerido.

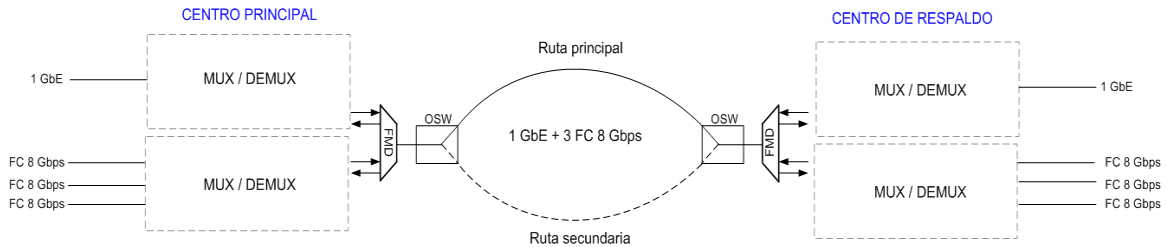


Figura 32. Esquema sistema WDM

7.2. Descripción de la solución

Se requiere realizar la interconexión de los CPD (Centro Procesado de Datos) principales a través de dos rutas diferentes de fibra dedicada/privada ya instalada, y dotar del equipamiento del transporte óptico WDM necesario para transportar los servicios correspondientes.

La solución propuesta se basa en equipos modulares de la familia MUX+ de Fibernet.

Esta familia de productos son multiplexores ópticos por división de longitud de onda (WDM) que soportan una variedad de configuraciones en cuanto a topología y densidad de canales.

En el caso requerido, los equipos incluidos en la propuesta y los interfaces de clientes soportados por ellos son:

- CMUX4+: soportan 4 interfaces de cliente de hasta 4 Gbps cada uno.
- XMUX4+: soportan 4 interfaces de cliente del entorno de 8 Gbps ó 10 Gbps cada uno.

La capacidad de crecimiento de los sistemas (CMUX4+ ó XMUX4+) es de hasta 16 canales con la arquitectura propuesta MUX+ Series, mediante la concatenación de hasta 4 equipos (bajo una misma gestión).

Por tanto, para el transporte del puerto de cliente de 1 GbE se utilizará el equipo CMUX4+ y para los 3 puertos de cliente de 8 Gbps se utilizará el equipo XMUX4+. La salida de ambos equipos se multiplexa y es llevada al switch óptico (equipo OSW-3 de Fibernet).

Para poder prestar la protección de ruta óptica, se ha incluido un Switch Óptico (equipo OSW-3 de Fibernet) con objeto de minimizar el impacto ante una posible avería en la misma. El sistema monitorizará en tiempo real el estado de las dos rutas de fibra, de manera que ante un eventual problema, ya sea por corte o excesiva degradación en la ruta activa, conmutará todo el tráfico hacia la ruta de backup en un tiempo inferior a 50ms y de forma transparente para los servicios finales.

A continuación se muestra el esquema de red de la solución

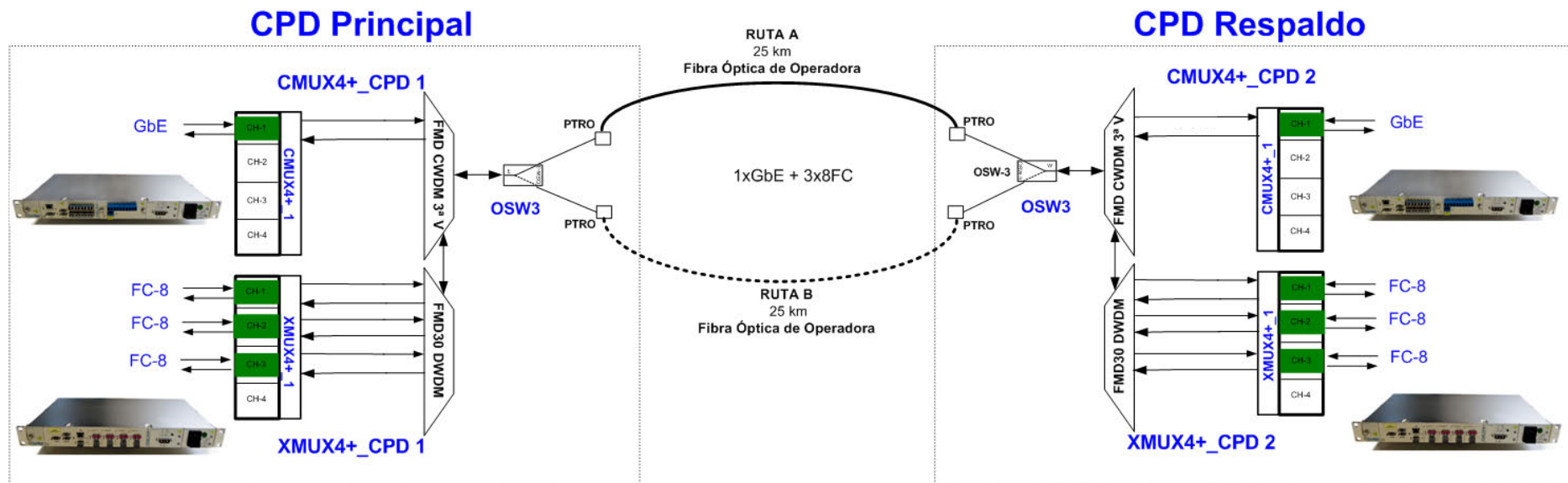


Figura 33. Esquema general del sistema WDM

Las características generales de las configuraciones propuestas son:

1. **Sistema bi-direccional**: Una sola fibra de planta externa sirve de enlace de un nodo a otro, y por ella se transmite en los dos sentidos. Esto es posible mediante la asignación separada de longitudes de onda para cada canal óptico y para cada sentido de transmisión.
2. **Configuración Punto a Punto**: Cada nodo tiene un nodo semejante al que está enfrente en configuración punto a punto.
3. **Redundancia de ruta o 1:1**: Cada uno de los sistemas MUX+ incluye un sistema de conmutación óptica OSW-3 que proporcionan protección 1:1 a la cual van conectados dos enlaces de fibra. Dicho sistema permite conmutar de forma automática de un enlace a otro en caso de indisponibilidad del enlace activo, siempre y cuando la ruta de backup esté disponible. Los enlaces de fibra o rutas van por caminos físicos diferentes con el fin de evitar que un posible corte de fibras afecte a ambas a la vez.
4. **Control de Calidad**: Los sistemas de conmutación óptica adicionalmente aportan la funcionalidad de medidas de atenuación, detectando el empeoramiento de las condiciones de la fibra debido a envejecimiento, suciedad en conectores, empalmes y fusiones deficientes, u otros eventos.
5. **Sistema gestionable**: Los equipos MUX+ instalados son gestionables proporcionando las siguientes funcionalidades:
 - Acceso por http y telnet.
 - Gestionable por SNMP.
 - Envío de eventos -- syslog.

La propuesta incluye los siguientes conceptos:

- **Suministro** de todo el hardware y software necesario para implementar la solución propuesta
- **Instalación y adecuación** física y lógica de todos los sistemas, así como cableados, accesorios y demás componentes que conforman la solución.
- **Integración y puesta en marcha** de los sistemas, para lo cual se realizarán todos los trabajos de configuración y calibración necesarios para dejar los sistemas en marcha con las funcionalidades requeridas.
- **Pruebas de aceptación de los servicios:** se realizará un protocolo de pruebas de aceptación definido que incluirá el chequeo del correcto funcionamiento de todos los servicios implementados, así como funcionalidades de protección y monitorización adicional. Se incluirá también en este protocolo de pruebas la parte de gestión (monitorización y envío de traps SNMP).
- **Soporte Técnico** necesario durante el proceso de puesta en marcha de los servicios finales de cliente.
- **Documentación del Proyecto:** A la finalización del proyecto se entregará documentación detallada de la solución implementada.
- **Servicio de Mantenimiento** durante **1 año** en modalidad 24x7, que incluye el primer nivel de soporte (in-situ).

El sistema monitorizará en tiempo real el estado de las dos rutas de fibra, de manera que ante un eventual problema, ya sea por corte o excesiva degradación en la ruta activa, conmutará todo el tráfico hacia la ruta de backup en un tiempo inferior a 50ms y de forma transparente para los servicios finales.

Es importante reseñar que el sistema solo necesitará una sola fibra de cada una de las dos rutas para transportar sobre el mismo todas las transmisiones y recepciones de todos los servicios que haya en marcha (**transmisión bidireccional**), de manera que quedará libre el otro vano de cada ruta de fibra disponible para el posible uso que se le quisiera dar.

7.3. Elementos que conforman la solución. (Anexo I: DataSheets)

i) Equipamiento CMUX 4+.

a. Descripción.

El CMUX4+ es un multiplexor óptico por división de longitud de onda (WDM) que soporta gran variedad de configuraciones en cuanto a topología y densidad de canales. En este caso, el sistema transmite en la banda de 1470 – 1610 nm, también conocida como tercera ventana.

El multiplexor óptico es capaz de encadenar hasta 16 canales de hasta 4 Gbps.



Figura 34. Equipo CMUX4+ totalmente equipado

Tal y como se muestra en la Figura 34, el CMUX4+ puede instalarse tanto en bastidores de 19 como de 21 pulgadas como en versión de sobremesa, tiene un fondo de 227mm compatible con entornos de operadora.

Su estructura electrónica comprende 4 canales bidireccionales independientes con interfaces ópticas realizadas mediante transceptores del tipo SFP (*"Small Factor Pluggable"*). La calidad de la señal óptica está complementada por el uso de recuperación de reloj y datos en ambas direcciones en cada canal, permitiendo que los enlaces puedan tener mayor distancia y mejores tasas de error.

En la Figura 35 se puede ver el diagrama de bloques general del funcionamiento del CMUX4+

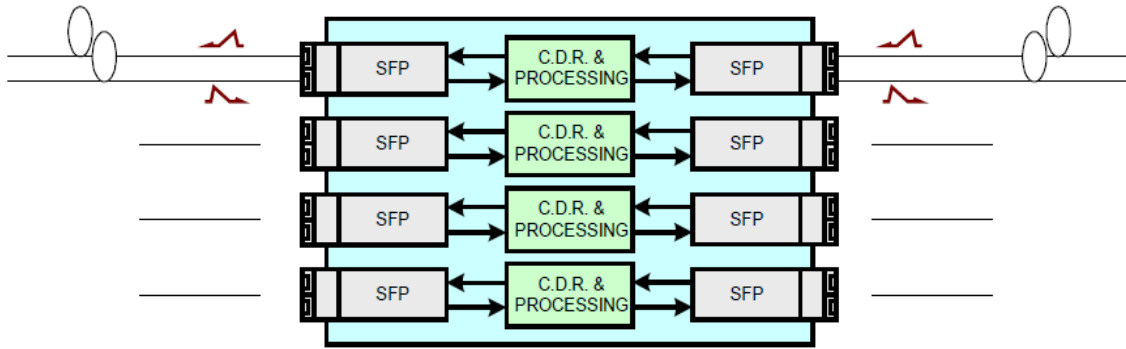


Figura 35. Diagrama de bloques de CMUX 4+

El equipo también alberga un “slot” para introducir la óptica de mezcla requerida en el montaje, además de dos fuentes de alimentación redundantes y una unidad de ventilación extraíble, en la Figura 36 se puede ver el esquema frontal del equipo se presenta a continuación:

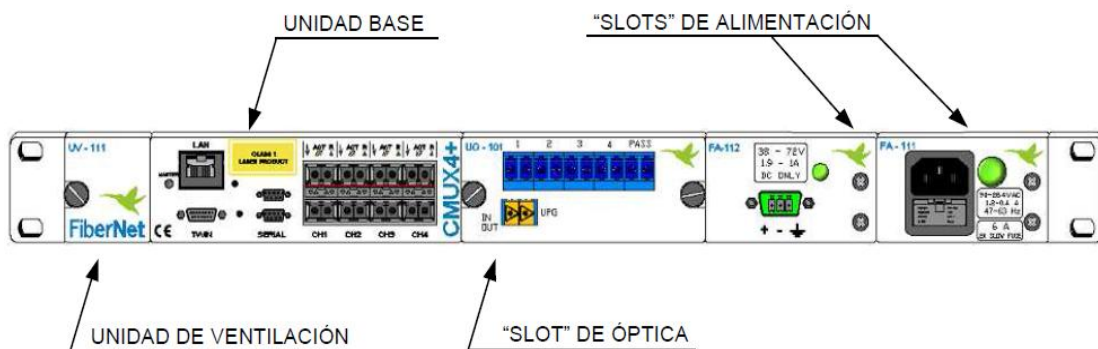


Figura 36. Esquema frontal del equipo CMUX 4+

El formato de la señal transmitida comprende los estándares más utilizados (SDH, FIBRE CHANNEL, GIGABIT ETHERNET...) así como otros propietarios en un ancho intervalo de velocidades binarias (entre 125 y 4250Mbps).

b. Unidad principal.

En la unidad principal comprende los 4 canales bidireccionales independientes con interfaces ópticas realizadas mediante transceptores del tipo SFP. En ella se reciben las señales procedentes del usuario y las señales a enviar por el lado de línea. Del mismo modo, se dispone de un puerto Ethernet para la gestión. A continuación, en la Figura 37 se puede ver el esquema frontal.

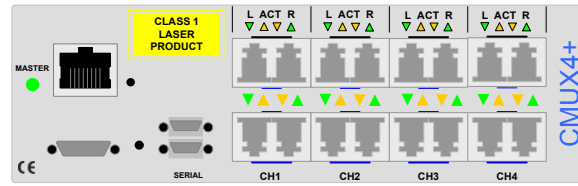


Figura 37. Unidad principal del CMUX4+

Las indicaciones de los LED muestran lo siguiente:

- L: Se recibe señal óptica por el interfaz (o inferior)
- R: Ídem por el remoto o superior
- ACT (dos LED): Indican canal activo a efecto de “Twin” (Sistema de protección de canales).
- SERIAL: Los conectores denominados SERIAL sirven para interconectar las comunicaciones de control entre varios módulos. El inferior enlazaría con el superior de la siguiente unidad y así sucesivamente,
- TWIN: El conector denominado TWIN une los canales para que tengan una operación de backup. En esta configuración no existe backup de canal, por lo tanto no aplica.
- MASTER: Muestra cuál es el primer equipo de una cadena de control a nivel de gestión. En nuestro caso todos los CMUX4+ instalados serán master.

c. Unidad óptica.

Esta unidad es flexible y puede albergar gran número de configuraciones distintas, diferenciándose en el tipo de conexionado físico interno y en los tipos de componentes físicos utilizados. La conexión con el exterior se realiza mediante conectores del tipo LC.

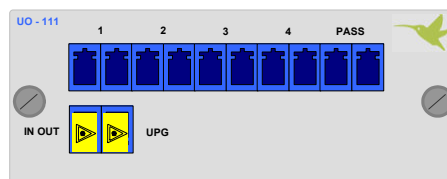


Figura 38. Unidad Óptica del CMUX4+.

Tal y como se puede ver en la Figura 38, la unidad óptica se compone por:

- El puerto IN/OUT es la conexión bidireccional que interconectará el sistema con su homólogo al otro extremo de la fibra óptica de planta externa.
- El puerto etiquetado como UPG nos sirve para interconectar ópticas en configuraciones de más de cuatro canales que utilicen la misma fibra de planta externa.

Como se ha comentado antes la unidad óptica es gestionable, aunque no podemos interactuar con ella en remoto ya que es un elemento totalmente pasivo. Si que podremos comprobar si está presente o no, el tipo de óptica instalada y el número de serie.

d. Unidad de ventilación.

La unidad mostrada en la Figura 39 es extraíble en caliente y alberga tres ventiladores con ciclo de vida de aproximadamente 5 años, cifra muy variable y sensible a las condiciones de temperatura y humedad del emplazamiento del equipo.



Figura 39. Esquema frontal de la unidad de ventilación del CMUX4+.

Si la ventilación del equipo fuese insuficiente, se activarán alarmas que indican un calentamiento excesivo de la unidad.

e. Fuentes de alimentación.

El CMUX4+ ha sido diseñado para permitir la coexistencia de dos fuentes por nodo, funcionando simultáneamente de forma que son totalmente redundantes la una de la otra. Dichas fuentes pueden ser tanto de corriente alterna (AC 220V en la Figura 40) como de continua (DC 24V, 48V, Figura 41).

Todos los tipos de fuentes poseen un piloto que indica entrada de suministro de energía y conector normalizado del cordón de alimentación.

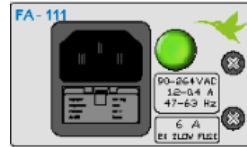


Figura 40. Fuente de alimentación de CA

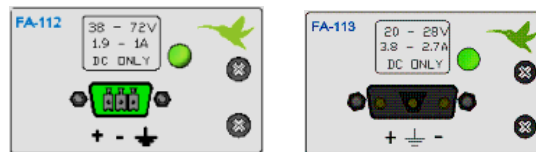


Figura 41. Fuentes de alimentación de DC 48 y 24v

f. Gestión del equipo CMUX4+.

En el Anexo II se describe como se describe la operación del equipo CMUX4+

ii) Equipamiento XMUX 4+.

a. Descripción.

El XMUX4+ es un multiplexor óptico por división de longitud de onda (WDM) que soporta gran variedad de configuraciones en cuanto a topología y densidad de canales. Específicamente, soporta servicios multiprotocolo del entorno de 8 y 10 Gbps.

El multiplexor óptico es capaz de encadenar hasta 16 canales de hasta 10 Gbps. Cada uno de los canales puede utilizar fibra de usuario multimodo o monomodo en función de la necesidad de cliente.



Figura 42. Equipo XMUX4+ totalmente equipado

Tal y como se muestra en la Figura 42, el XMUX4+ puede instalarse tanto en bastidores de 19 como de 21 pulgadas como en versión de sobremesa, tiene un fondo de 227mm compatible con entornos de operadora.

Se presenta como un equipo completamente modular, compuesto por módulos de alimentación (ambos extraíbles en caliente).

Su estructura electrónica comprende 4 canales bidireccionales independientes con interfaces ópticas realizadas mediante transceptores del tipo SFP (*Small Form-factor Pluggable*). La calidad de la señal óptica está complementada por el uso de recuperación de reloj y datos en ambas direcciones en cada canal, permitiendo que los enlaces puedan tener mayor distancia y mejores tasas de error.

En la Figura 43 se puede ver el diagrama de bloques general del funcionamiento del XMUX4+

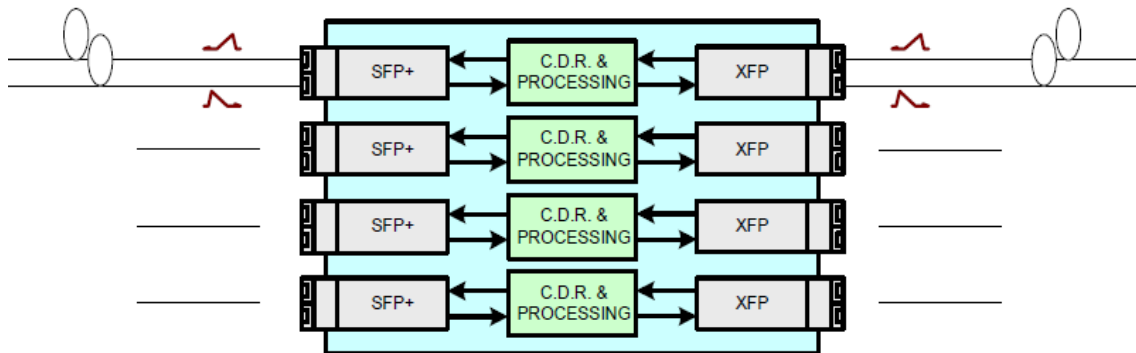


Figura 43. Diagrama de bloques de XMUX 4+

El equipo alberga además dos fuentes de alimentación redundantes y una unidad de ventilación extraíble. A diferencia del equipamiento CMUX4+, el equipo XMUX4+ no contempla una unidad óptica integrada tal y como se muestra en la Figura 44, donde se puede ver el esquema frontal del equipo se presenta a continuación:

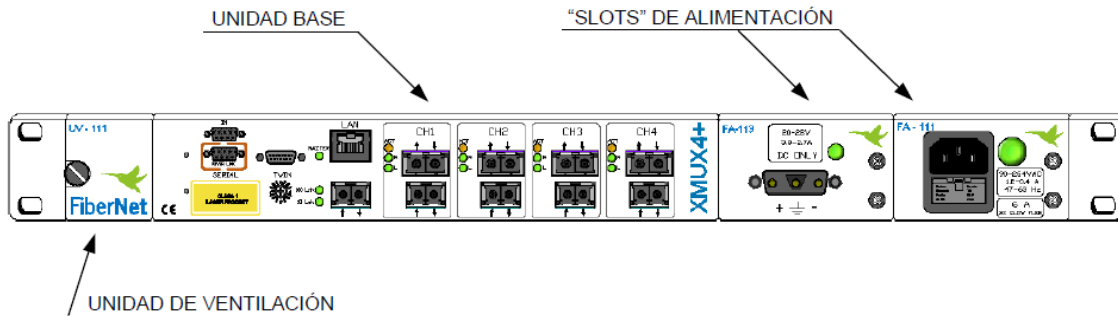


Figura 44. Esquema frontal del equipo XMUX 4+

El formato de velocidades binarias soportadas comprende los 8,5Gbps y el rango de 9,95Gbps a 11,7Gbps, abarcando así los estándares más utilizados en estas velocidades: FIBRE CHANNEL 8, OC-192/STM-64, 10GB ETHERNET, FIBRE CHANNEL 10, etc.

b. Unidad principal.

En la unidad principal comprende los 4 canales bidireccionales independientes con interfaces ópticas realizadas mediante transceptores del tipo XFP. En ella se reciben las señales procedentes del usuario y las señales a enviar por el lado de línea. Del mismo modo, se dispone de un puerto Ethernet para la gestión. A continuación, en la Figura 45 se puede ver el esquema frontal.

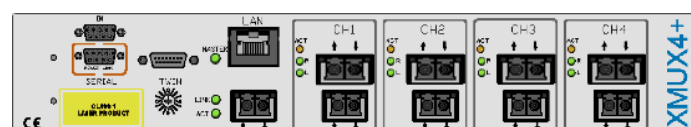


Figura 45. Unidad principal del XMUX4+

Las indicaciones de los LED muestran lo siguiente:

- L: Se recibe señal óptica por el local (interfaz de usuario)
- R: Se recibe señal óptica por el remoto (interfaz de línea)
- ACT: Canal activo a efecto de "Twin" (Sistema de protección de canales)
- SERIAL: Destinados a la interconexión de las comunicaciones de control entre varios módulos. El conectar inferior enlaza con el superior de la siguiente unidad y así sucesivamente,

- TWIN: Une los canales para conferirles operación de backup.
- MASTER: Indica cuál es el primer equipo de una cadena de control a nivel de gestión.

c. Unidad de ventilación.

La unidad de ventilación dispone de las mismas características que el equipamiento CMUX4+. Dicha unidad se diseñó con el fin de poder implementarla en los chasis de los equipos de la familia MUX4+ así como en el Switch Óptico OSW-3 y disponer así de una optimización en la fabricación y un ahorro de costes.

d. Fuentes de alimentación.

Al igual que la unidad de ventilación, las fuentes de alimentación disponen de las mismas características que en el equipamiento CMUX4+. Dichas unidades se diseñaron con el fin de poder implementarlas en los chasis de los equipos de la familia MUX4+ así como en el Switch Óptico OSW-3 y disponer así de una optimización en la fabricación y un ahorro de costes.

e. Gestión del equipo XMUX4+.

En el Anexo III se describe como se describe la operación del equipo XMUX4+.

iii) FMD.

Los módulos FMD (Multiplexadores Ópticos) incorporan componentes puramente ópticos y pasivos, por lo que su funcionamiento no se incluye en el esquema de gestión del sistema.

El FMD-Tx (Multiplexador) multiplexa un número determinado de señales en una única señal óptica, mientras que el FMD-Rx lleva a cabo el trabajo contrario (DE-Multiplexación). El puerto de conexión para las señales agregadas (salida y entrada, recuérdese que se trata de un sistema de una sola fibra o bidireccional) se llama COMÚN (COM). En la Figura 46 se puede observar el esquema frontal del FMD.

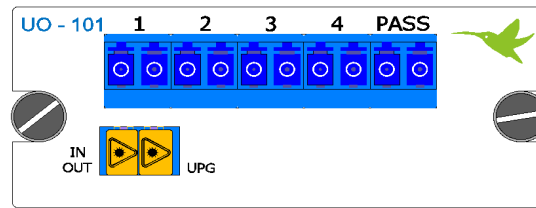


Figura 46. Perspectiva frontal del un módulo FMD

Los módulos FMD están basados en la tecnología de difracción espacial y pueden utilizar espaciamiento CWDM o DWDM, dependiendo de la capacidad de canales que se necesitan.

Para la gestión de los módulos de óptica FMD utilizamos el equipamiento gestor de ópticas OMP-3. Este equipo posibilita la gestión de hasta 3 módulos de ópticas WDM, así como módulos “splitter” para implementar la protección TWIN (1+1).

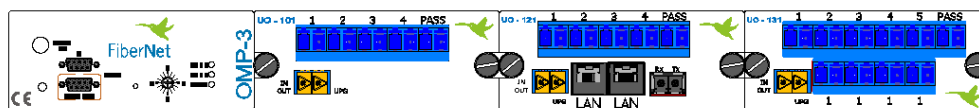


Figura 47. Perspectiva frontal del gestor de ópticas OMP-3

iv) SFP

Un SFP, definido como small form-factor pluggable, es un transceptor insertable en caliente que sirve de interfaz entre un equipo la electrónica de red del cliente (switch, router, conversor de medios, etc) y un enlace por fibra óptica.

Una característica importante es el color del anillo de extracción del SFP, relacionado con la ventana de transmisión en la que trabaja. Las más comunes:

- "Negro" significa primera ventana y multimodo.
- "Azul" significa segunda ventana y monomodo. (foto adjunta)
- "Amarillo" significa tercera ventana y monomodo.

Para el sistema que se pretende implementar se utilizaran SFP multimodo en el lado de la LAN y SFPs para 40km en el lado de línea. En la siguiente figura 48 se puede ver como se presentan los SFP comerciales.



Figura 48. SFPs Comerciales

Por tanto se implementarán SFPs con las siguientes características:

1. SFP en el lado de usuario:

- Servicio de 1 GbE: SFP de 1,25 Gb/s y 850nm

Velocidad de datos	Medio	Longitud de onda	Distancia de Transmisión	Rango Temperatura
1250 Mbps	Fibra Multimodo	850 nm	550 m	0-70 °C

Tabla. XII. Descripción rápida de SFP de usuario para 1 Gbps

Descripción técnica del SFP:

- Transmisiones de datos hasta 1.25Gb/s multiprotocolo
- **Transmisor del laser de VCSEL y fotodetector PIN**
- Enchufable en Caliente
- Tipo de interfaz óptico de LC/UPC
- Baja disipación
- Chasis metálico, proporciona una EMI más baja
- Compatibilidad con CISCO/HP/Extreme/Juniper/H3C...)
- Posibilidad de 3 rangos de temperatura de funcionamiento

Comercial: 0°C a +70°C

Extendido: -10°C a +80°C

Industrial: -40°C a +85°C

- Servicio de FC-8 Gbps: SFP+ de 8,5 Gb/s y 850 nm

Velocidad de datos	Medio	Longitud de onda	Distancia de Transmisión	Rango Temperatura
8 G 10 G	Fibra Multimodo	850 nm	300 m	0-70 °C

Tabla. XIII. Descripción rápida de SFP de usuario para FC-8 Gbps

Descripción técnica del SFP:

- Transmisiones de datos hasta 8,5 Gb/s – 11,3 Gb/s multiprotocolo
- **Transmisor del laser de DBF y fotodetector PIN**
- Enchufable en Caliente
- Tipo de interfaz óptico de LC
- Baja disipación
- Chasis metálico, proporciona una EMI más baja.
- Compatibilidad con CISCO/HP/Force10/Juniper/EdgeCore...)
- Posibilidad de 3 rangos de temperatura de funcionamiento

Comercial: 0°C a +70°C

Extendido: -10°C a +80°C

Industrial: -40°C a +85°C

2. SFP en el lado de línea:

- Servicio de 1 GbE: SFP de 1,25 Gb/s y 1550 nm

Velocidad de datos	Medio	Longitud de onda	Distancia de Transmisión	Rango Temperatura
1250 Mbps	Fibra Monomodo	1310 nm 1550 nm	40 km	0-70 °C

Tabla. XIV. Descripción rápida de SFP de línea para 1 Gbps

Descripción técnica del SFP:

- Transmisiones de datos hasta 1.25Gb/s multiprotocolo
- **Transmisor del laser de DBF y fotodetector PIN**
- Los hasta 40 km.
- Enchufable en Caliente
- Tipo de interfaz óptico de LC/UPC
- Baja disipación
- Chasis metálico, proporciona una EMI más baja
- Transmisiones de datos hasta 8,5 Gb/s – 11,3 Gb/s multiprotocolo
- Compatibilidad con CISCO/HP/Extreme/Juniper/H3C...)
- Posibilidad de 3 rangos de temperatura de funcionamiento

Comercial: 0°C a +70°C

Extendido: -10°C a +80°C

Industrial: -40°C a +85°C

- Servicio de 8 GbE: XFP de 8,5 Gb/s y 1550 nm

Velocidad de datos	Medio	Longitud de onda	Distancia de Transmisión	Rango Temperatura
1250 Mbps	Fibra Monomodo	1310 nm 1550 nm	40 km	0-70 °C

Tabla. XV. Descripción rápida de SFP de línea para FC-8 Gbps

Descripción técnica del XFP:

- Transmisiones de datos hasta 8,5 Gb/s – 11,3 Gb/s multiprotocolo
- **Transmisor del laser de DBF y fotodetector PIN**
- Los hasta 40 km
- Enchufable en Caliente
- Tipo de interfaz óptico de LC/UPC
- Baja disipación
- Chasis metálico, proporciona una EMI más baja
- Compatibilidad con CISCO/HP/Extreme/Juniper/H3C...)
- Posibilidad de 3 rangos de temperatura de funcionamiento

Comercial: 0°C a +70°C

Extendido: -10°C a +80°C

Industrial: -40°C a +85°C

v) Módulo de Conmutación.

a. Descripción.

El sistema OSW-3 (Optical Switch) es un conmutador óptico monofibra, con un puerto común y dos de enlaces externos (o rutas), que realiza en tiempo real la monitorización de dos fibras independientes (rutas) a través de los puertos externos, obteniendo diferentes medidas que le permiten identificar el estado de cada uno de las rutas. En función del estado de cada una de ellas de manera independiente, puede enviar alarmas y tomar decisiones de conmutación entre una y otra ruta. Las conmutaciones entre rutas se realizan en tiempos de pocos milisegundos (**tiempo inferior a 50ms**), y la interrupción efectiva de servicio se reduce al mínimo (si bien esto dependerá de los protocolos y aplicaciones empleadas por los equipos de usuario). Una de las rutas estará trabajando en modo activo, siendo la información del puerto común transportada por esta ruta. La otra ruta está en modo respaldo. Si se detecta interrupción del servicio sobre la ruta activa, y solo si la ruta de respaldo está disponible, el OSW inmediatamente conmuta a la ruta de respaldo.

En la siguiente Figura 49 se puede observar el equipamiento OSW-3.



Figura 49. Frontal del equipo OSW-3

Es el soporte mecánico, de medias estándar de 1UR para bastidor de 19", en el cual se insertan el resto de componentes del OSW-3. El soporte tiene los conectores eléctricos y ópticos necesarios para el correcto funcionamiento entre componentes, garantizando la alimentación de corriente de cada componente y comunicación entre ellos.

El módulo OSW-3 proporciona información continua de:

- El estado de cada ruta óptica (operativa / no operativa)

- Cuál de las dos es la ruta activa -es decir, por cuál se está produciendo la transmisión en cada momento-.
- Medida de atenuación (ruta principal y ruta secundaria) en tiempo real.
- Detección de manipulación e intrusión en la ruta.
- Medida de latencia de las rutas.

Esta información es accesible mediante los LED's de estado incorporados al frontal del módulo, a través de consola remota, o bien mediante el agente SNMP cuando se produce cualquier cambio en el estado de las rutas o al tener lugar una conmutación.

El módulo OSW-3 conmuta la ruta en los casos siguientes:

- Conmutación ante corte de fibra óptica
- Conmutación ante aumento de atenuación
- Definición de umbrales de atenuación: alarmas preventivas y/o conmutación de ruta.
- Conmutación ante intrusiones en fibra óptica
- Conmutación ante errores en la transmisión
- Conmutación por decisión humana
- Conmutación reversible configurable
- Tiempo de estabilidad configurable ante conmutación reversible.

b. Arquitectura física del OSW-3.

El esquema frontal del equipo se presenta a continuación en la Figura 50



Figura 50. Frontal del equipo OSW-3

El equipo está compuesto por:

- Unidad de Ventilación: Desde un extremo del equipo refrigera el resto de componentes.
- Unidad de supervisión y control: Se comunica con el resto de componentes a través del Bus interno de control. También proporciona el interface de gestión del sistema hacia el exterior.
- Las unidades SW y Medidas: realizan el encaminamiento de las rutas ópticas
- Unidades de Alimentación: pueden ser DC/DC o AC/C suministrado y garantizando alimentación al resto de componentes, a través del backplane eléctrico interno del sistema.

Como se muestra en el diagrama de bloques, representado en la Figura 51 funcional del OSW-3, se aprecia la interacción de cada una de las partes en el conjunto del sistema.

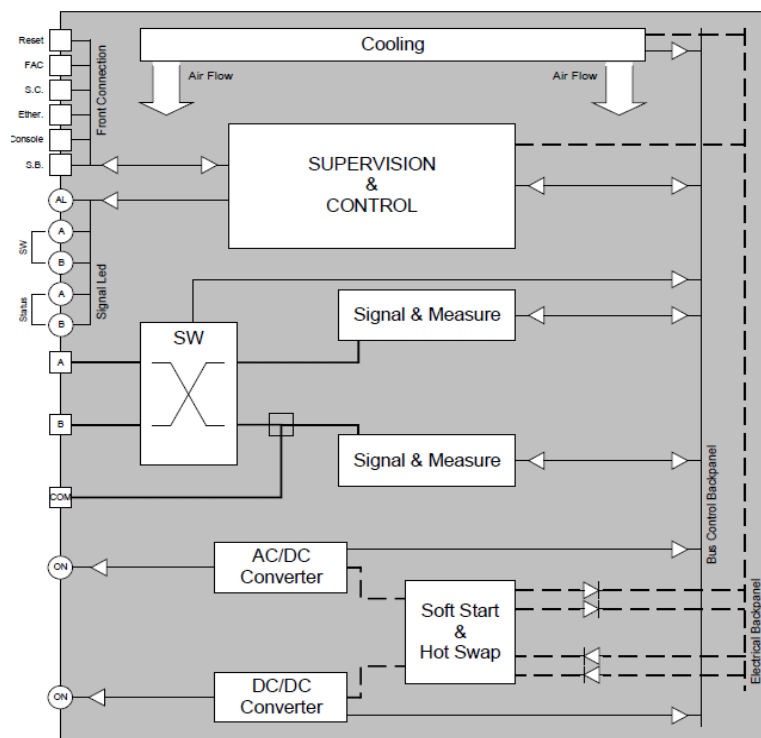


Figura 51. Diagrama de bloques del OSW-3

c. Interpretación de los LEDs.

El OSW-3 dispone indicadores frontales (Figura 52) que informan del estado en el que se encuentra el sistema OSW-3:

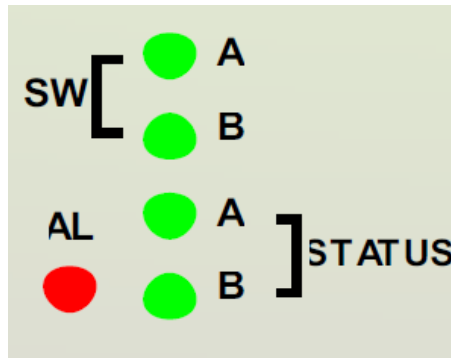


Figura 52. Esquema de los LEDS indicadores del OSW-3

A continuación se muestra la descripción de los indicadores.

- **AL:** un LED monocromático rojo indicador de Alarma genérica. Puede encenderse por causas de temperatura, enlace cruzado, error SW interno. Su encendido y apagado, envían una alarma y un registro en el Log.
- **SW A / B:** 2 LEDs monocromáticos verdes, uno para cada ruta. Indica cuál de las dos rutas es la ruta activa (y, por tanto, por qué ruta se está cursando el tráfico de red). Solo puede estar encendido uno de los dos a la vez. Su encendido y apagado, envían una alarma y un registro en el Log.
- **STATUS A / B:** 2 LEDs monocromáticos verdes, uno para cada ruta. Indican en qué estado se encuentran las rutas:
 - Apagado: no hay continuidad en la ruta.
 - Parpadeando: hay continuidad en la ruta, pero no está dentro de márgenes configurados o la ruta no está calibrada.

- Encendido fijo: hay continuidad en la ruta y se encuentra en márgenes de operación correctos. Su encendido y apagado, envían una alarma y un registro en el Log.
- Leds LAN: 2 LEDs monocromáticas amarilla / verde por puerto LAN, indican estado de ese puerto, Link / actividad Ethernet respectivamente.
- Leds F.A.: 1 LED monocromático verde por F.A., indica suministro eléctrico correcto por esa F.A. Su encendido y apagado, envían una alarma y un registro en el Log.

d. Unidad de ventilación.

La unidad de ventilación dispone de las mismas características que el equipamiento CMUX4+. Dicha unidad se diseñó con el fin de poder implementarla en los chasis de los equipos de la familia MUX4+ así como en el Switch Óptico OSW-3 y disponer así de una optimización en la fabricación y un ahorro de costes

e. Fuentes de alimentación.

Al igual que la unidad de ventilación, las fuentes de alimentación disponen de las mismas características que en el equipamiento CMUX4+. Dichas unidades se diseñaron con el fin de poder implementarlas en los chasis de los equipos de la familia MUX4+ así como en el Switch Óptico OSW-3 y disponer así de una optimización en la fabricación y un ahorro de costes.

f. Tarjeta controladora.

Es la unidad principal de OSW-3. Está integrada por:

- Gestor del OSW-3: encargado de la configuración de gestión y monitorización de estado. Donde reside la configuración IP, SNMP, NTP, SysLog y Log.
- Controladora OSW-3: encargada de la configuración y monitorización de rutas. Donde reside la configuración de rutas, umbrales y conmutación definidos, calibración de rutas y Performance Monitoring.

- Canal de servicio: canal Ethernet 100Mbps, habilitado para el transporte de OSC (Optical Service Chanel), pudiendo extender la gestión de un nodo al nodo enfrentado.
- Puerto de consola: Permite conexión de gestión desde el frontal.
- Puerto USB: Permite la actualización software del OSW-3
- Botón de Reset y Fabrica: permiten realizar un reinicio de la gestión o resetear a los valores de fabrica.
- Leds de señalización: muestran el estado de OSW-3 y de las rutas.

Hay que distinguir entre dos tipos de controladores, nodo E y W. Para el correcto funcionamiento del sistema OSW-3, cada nodo E debe estar enfrentado a un nodo W, así mismo cada controladora E debe emparejarse con su óptica E y la controladora W con su óptica W.

Si se produjese alguna variación en las condiciones de funcionamiento interno, como las corrientes o tensiones que controlan el correcto funcionamiento de los láseres de señalización, se activaría alguna alarma preventiva indicando que algún componente está sufriendo una degradación.

Para la sustitución de esta unidad es necesario desenroscar y enroscar los tornillos de sujeción. Es extraíble en caliente, sin afectación de servicio, únicamente se perdería la gestión y monitorización del equipo durante la sustitución.

A continuación, en la Figura 53, se pueden ver las tarjetas controladoras

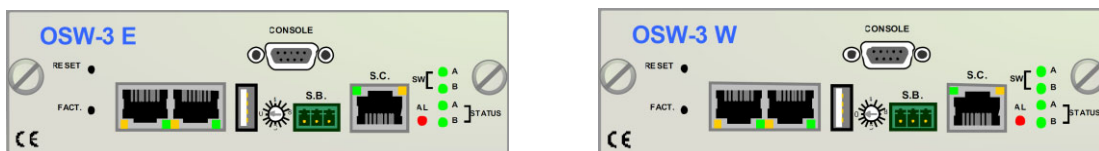


Figura 53. Frontal de las tarjetas controladoras del OSW-3

g. Tarjeta óptica.

Esta unidad es completamente pasiva compuesta de elementos ópticos que realizan las funciones de encaminar y medir las distintas señales ópticas por las

diferentes rutas, así como la conmutación entre ambas rutas. Hay que distinguir entre dos tipos de ópticas, nodo E y W. Para el correcto funcionamiento del sistema OSW-3, cada nodo E debe estar enfrentado a un nodo W, así mismo cada controladora E debe emparejarse con su óptica E y la controladora W con su óptica W.

Para la sustitución de esta unidad es necesario desenroscar y enroscar los tornillos de sujeción. **NO** es extraíble en caliente, puesto que su sustitución requerirá desconectar las rutas y puerto común

A continuación, en la Figura 54, se pueden ver las tarjetas controladoras

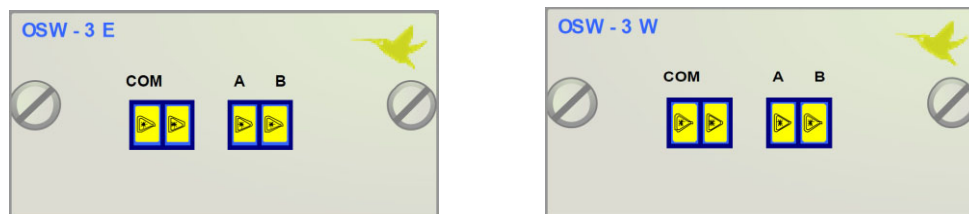


Figura 54. Frontal de las tarjetas ópticas del OSW-3

h. Gestión del equipo OSW-3.

En el Anexo IV se describe como se describe la operación del equipo OSW-3

7.4. Esquema lógico de la red de transmisión.

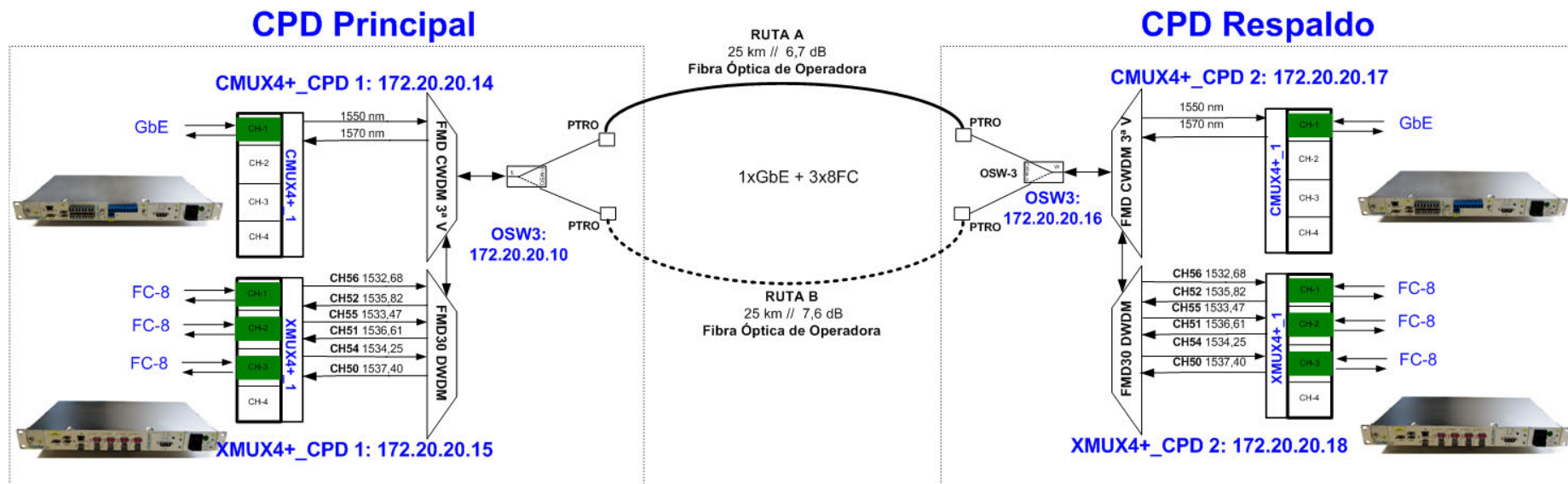


Figura 55. Esquema de la red de transmisión propuesta



Diseño e implementación de un sistema WDM mediante equipamiento de Fibernet



7.5. Hojas de Configuración

Las hojas de comunicación son aquellas que contienen los datos principales de cada uno de los enlaces.

Existe una hoja de configuración por cada uno de los nodos que componen el sistema y contienen los siguientes datos:

- Origen y destino del enlace (1)
- Direcciones IP para la gestión de cada uno de los equipos que conforman el nodo (2)
- Información de cada uno de los enlaces activos del sistema en donde se pueden ver datos como:
 - Equipos de transporte MUX4+: Puerto del equipo, lambda asociada al canal, atenuación del enlace, SFP del lado de usuario o capacidad de transporte y n° de serie.(3)
 - Equipo de conmutación OSW-3: Atenuación de cada ruta, umbral de conmutación: intrusión y Atenuación así como el n° de serie. (4)
 - Equipos pasivos FMD/OMP-3: slots ocupados y n° de serie.(5)

A continuación, en la Tabla XVI, se pueden observar las hojas de configuración del proyecto:

CLIENTE:


NODO:

TIPO SISTEMA:

MAQUETA PROYECTO FINAL

NODO CPD PRINCIPAL

MUX + WDM



LOCALIZACIÓN:

1) PUNTO A PUNTO:

CPD PRINCIPAL

A CPD DE RESPALDO

IP CMUX4+ _1: 172.20.20.11

IP XMUX4+ _1: 172.20.20.12

IP OSW3_1 Laureles: 172.20.20.10

IP MASK : 255.255.255.128

GATEWAY: 172.20.20.1

TRAPS: 96.3.1.68

3) CMUX4+_1_CPD PRINCIPAL

LAMBDA Tx (nm)	LAMBDA Rx (nm)	BASEPOS / PUERTO	S / N	FMD / PUERTO	SFP Lado Usuario	3R	CIRCUITO	RxREM R1	RxREM R2
1550	1570	0/1 0/2 0/3 0/4	14357	TX-FMD3#V#3A-RX-FMD3#V#3B	SX	GbE	CPD_1_CPD_2 GbE (1)	-11,77	-12,57

3) XMUX4+_1_CPD PRINCIPAL

LAMBDA Tx (nm)	LAMBDA Rx (nm)	BASEPOS / PUERTO	S / N	FMD / PUERTO	SFP Lado Usuario	3R	CIRCUITO	RxREM R1	RxREM R2
1538,19(ch49)	1535,04(ch53)	0/1	16552	TX-FMD3#V#4B-RX-FMD3#V#2B	SX	FC8	CPD_1_CPD_2 FC-8 (1)	-13,19	-14,62
1537,40(ch50)	1534,25(ch54)	0/2		TX-FMD3#V#4A-RX-FMD3#V#2A	SX	FC8	CPD_1_CPD_2 FC-8 (2)	-13,64	-14,8
1536,61(ch51)	1533,47(ch55)	0/3		TX-FMD3#V#3B-RX-FMD3#V#1B	SX	FC8	CPD_1_CPD_2 FC-8 (3)	-13,09	-14,62
		0/4							
OMP3			14090						
Slot 1	FMD30_M	-							
Slot 2	Vacio	-							
Slot 3	Vacio	-							

4) OSW_NodoA_1

OSW_W Slave

17420

Ruta A

Attenuation: Calib: 6,7 dB/ Att Thres: 3 dB/ Hyst:2dB

Intrusion Thres:4 dB/ Hyst: 2dB

Index of Refraction: 1,47/Latency:16380

Ruta B

Attenuation: Calib: 7,5 dB/ Att Thres: 3dB/ Hyst:2dB

Intrusion Thres:4 dB/ Hyst: 2dB

Index of Refraction: 1,57/Latency:17650

CLIENTE:
NODO:
TIPO SISTEMA:

MAQUETA PROYECTO FINAL
NODO CPD RESPALDO
MUX + WDM



LOCALIZACIÓN:
PUNTO A PUNTO:

CPD RESPALDO
A CPD PRINCIPAL

IP CMUX4+ _2: 172.20.20.17
IP XMUX4+ _2: 172.20.20.18
IP OSW3_2 Laureles: 172.20.20.16
IP MASK : 255.255.255.128
GATEWAY: 172.20.20.2
TRAPS: 96.3.1.68

LAMBDA Tx (nm)	LAMBDA Rx (nm)	CMUX4+_2_CPD RESPALDO									
		BASEPOS / PUERTO	S / N	FMD / PUERTO	SFP Lado Usuario	3R	CIRCUITO	RxREM R1	RxREM R2		
1550	1570	0/1 0/2 0/3 0/4	11522	TX-FMD3V#3B-RX-FMD3V#3A	SX	GbE	CPD 1_CPD 2 GbE (1)	-11,77	-12,57		
LAMBDA Tx (nm)	LAMBDA Rx (nm)	XMUX4+_2_CPD RESPALDO									
		BASEPOS / PUERTO	S / N	FMD / PUERTO	SFP Lado Usuario	3R	CIRCUITO	RxREM R1	RxREM R2		
		1535,04(CH53)	1538,19(CH49)	0/1	16551	TX-FMD3V#2B-RX-FMD3V#4B	SX	FC8	CPD 1_CPD 2 FC-8 (1)	-13,19	-14,62
		1534,25(CH54)	1537,40(CH50)	0/2		TX-FMD3V#2A-RX-FMD3V#4A	SX	FC8	CPD 1_CPD 2 FC-8 (2)	-13,64	-14,8
		1533,47(CH55)	1536,61(CH51)	0/3		TX-FMD3V#1B-RX-FMD3V#3B	SX	FC8	CPD 1_CPD 2 FC-8 (3)	-13,09	-14,62
				0/4							
		OMP3		14663							
		Slot 1	FMD30_M	-							
Slot 2	Vacio	-									
Slot 3	Vacio	-	-								

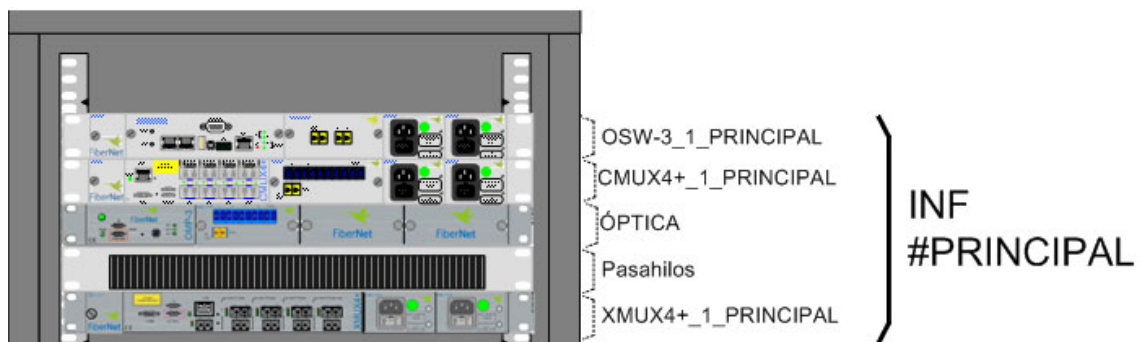
OSW_NodoA_1	OSW_W Slave	17420	Ruta A		Ruta B	
			Attenuation: Calib: 6,7 dB/ Att Thres: 3 dB/ Hyst:2dB		Attenuation: Calib: 7,5 dB/ Att Thres: 3dB/ Hyst:2dB	
			Intrusion Thres:4 dB/ Hyst.: 2dB		Intrusion Thres:4 dB/ Hyst.: 2dB	
			Index of Refraction: 1,47/Latency:16380		Index of Refraction: 1,57/Latency:17650	

Tabla. XVI. Canales requeridos a transportar

7.6. Diagrama de instalación

En el esquema de la Figura 56 se muestra el esquema de instalación en el bastidor de uno de los nodos. Se puede ver como el número de unidades de Rack de ocupación es de 5.

Cada nodo se compondrá de equipamiento de transporte CMUX4+ y XMUX4+, un pasa hilos para la fibra óptica, el módulo de óptica FMD y el módulo de conmutación OSW3.



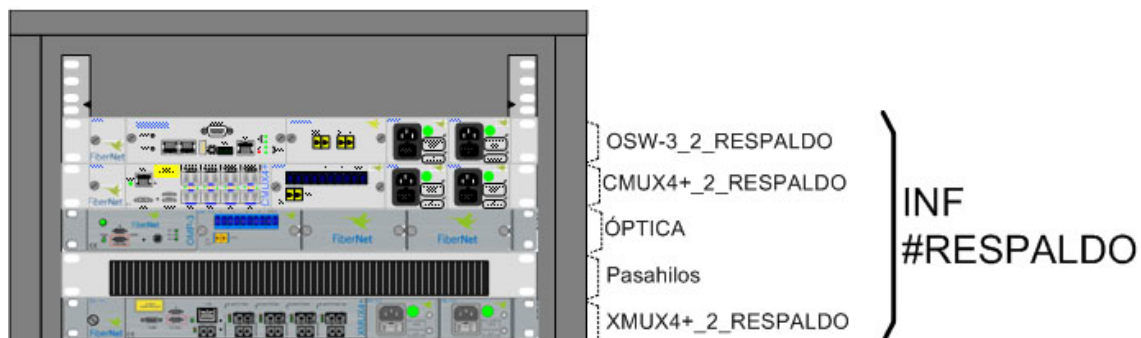


Figura 56. Diagramas de bastidor

7.7. Parámetros de red y acceso

Para la gestión de los equipos, es necesario definir una red a nivel IP con el fin de poder disponer de acceso a los equipos mediante la plataforma SNMP. Del mismo modo se definirán los niveles de acceso y los Traps de alarmas

En la Tabla XVII se muestra la distribución de las direcciones IP de cada uno de los equipos.

Datacenter	Equipo	Hostname	IP	GATEWAY
CPD 1	XMUX4+_1	A1_XMUX4	172.20.20.14	170.20.20.1
CPD 1	CMUX4+_1	A1_CMUX4	172.20.20.15	170.20.20.1
CPD 1	OSW3_1	A1_OSW3	172.20.20.10	170.20.20.1
CPD 2	XMUX4+_1	B1_XMUX4	172.20.20.18	170.20.20.2
CPD 2	CMUX4+_1	B1_CMUX4	172.20.20.17	170.20.20.2
CPD 2	OSW3_1	B1_OSW3	172.20.20.16	170.20.20.2

Tabla. XVII. Asignación IPs-Hostname

Para la gestión de alarmas a través de SNMP y para la comunicación con los servidores de NTP y log se han configurado los siguientes parámetros mostrados en la Tabla XVIII:

SNMP	
Community	dwdmMaqueta
System Name	Fibernet MUX
System Description	DWDM nodo A DWDM nodo B
System Location	Nodo A CPD PPAL Nodo B CPD RESPALDO
Primary Trap	96.3.1.68
NTP Server	
Dirección IP	96.3.1.119
Syslog	
Dirección IP	96.3.1.68

Tabla. XVIII. Parámetros SNMP, NTP y Syslog

Los equipos cuentan con los siguientes perfiles (Tabla XIX) de acceso para mantenimiento y operación de consulta a los equipos:

Usuarios Acceso OSW-3		
Perfil	Mantenimiento	Consulta
Usuario	Manten	Mon
Contraseña	Manten	Mon
Usuarios Acceso MUX+		
Perfil	Mantenimiento	Consulta
Usuario	Admin	Cons
Contraseña	PASS	Cons

Tabla. XIX. Parámetros Acceso GUI equipos MUX+ y OSW-3

Para la consulta en los equipos de la familia MUX+ es suficiente con lanzar la aplicación GUI sin necesidad de autenticarse.

7.8. Pruebas y medidas

Para garantizar el correcto funcionamiento del enlace es necesario comprobar la calidad de la fibra óptica y de cada canal a poner en servicio. Se han realizado distintas medidas y pruebas sobre las fibras de planta externa y los canales para ofrece dichas garantías.

Las pruebas y medidas realizadas para en la infraestructura se realizaron el 11/05/2015.

i) Equipamiento utilizado

Las medidas anteriores fueron realizadas con el siguiente equipamiento:

a. Medición de potencia óptica.

- **Medidor de Potencia óptica.**

Se dispone de medidores de potencia óptica, ajustables a la ventana de transmisión correspondiente en cada momento.

El medidor de potencia óptica de mano sirve para medir la señal que nos está llegando por una fibra monomodo o multimodo. Esta señal es medida en valores absolutos (dBm), siendo el total de la potencia transmitida por la fibra.

El adaptador superior puede medir todo tipo de fibras (conector universal) o adaptarse a tipos independientes según al necesidad.

Se puede configurar en las tres ventanas de transmisión (850nm, 1310nm y 1550nm). El medidor de potencia utilizado es el mostrado en la Figura 57:



Figura 57. Wilcom optical power meter-- model FM8515B

Se dispone de medidores de potencia óptica, ajustables a la ventana de transmisión correspondiente en cada momento.

Las medidas se suelen utilizar para saber cuánto atenúa una fibra o elemento pasivo. Los valores son medidos en valor relativo o dB, siendo necesario tomar medias absolutas en los dos extremos para calcular la atenuación.

También es posible calcular las pérdidas de inserción de un elemento pasivo como puede ser un OADM, siendo también este valor tomado en medidas relativas o dB.

En la Figura 58 se puede observar cómo se realizan las medidas de potencia óptica.

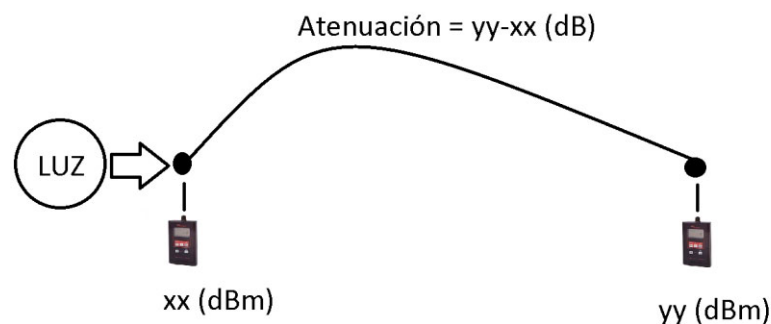


Figura 58. Esquema de medición de potencia óptica del sistema

b. Caracterización de la fibra.

- **Analizador de Espectro Óptico.**

Como punto necesario para la precisa calibración del sistema se debe de realizar un análisis de la evolución del espectro óptico en función de las distintas longitudes de onda utilizadas en el sistema (Caracterización de las fibras de planta externa). Para ello utilizaremos el analizador de espectro óptico, mostrado en la Figura 59 como instrumento con el que poder obtener dicha información.



Figura 59. SA UBI-WALICS

- **Fuente Láser sintonizable.**

Para poder simular la transmisión de cada una de las longitudes de onda utilizadas en este sistema es necesario utilizar un fuente láser sintonizable, como el mostrado en la Figura 60, en cada una de las frecuencias requeridas.



Figura 60. GN NETTEST TUNICS-BT 1560

La atenuación varía con la longitud de la onda y por dicho motivo las ventanas de transmisión se comportan de forma diferente. Por ello, es necesario poder medir qué respuesta en frecuencia tenemos sobre una fibra. Para aplicar lo descrito, se dispondrá de la fuente emisora de láser configurable en frecuencia en un extremo, y en el otro el analizador de espectro óptico para recoger los resultados.

Los resultados deseados deberán contar con una respuesta en frecuencia plana, es decir, una respuesta de similares valores en cada una de las bandas de frecuencia medida.

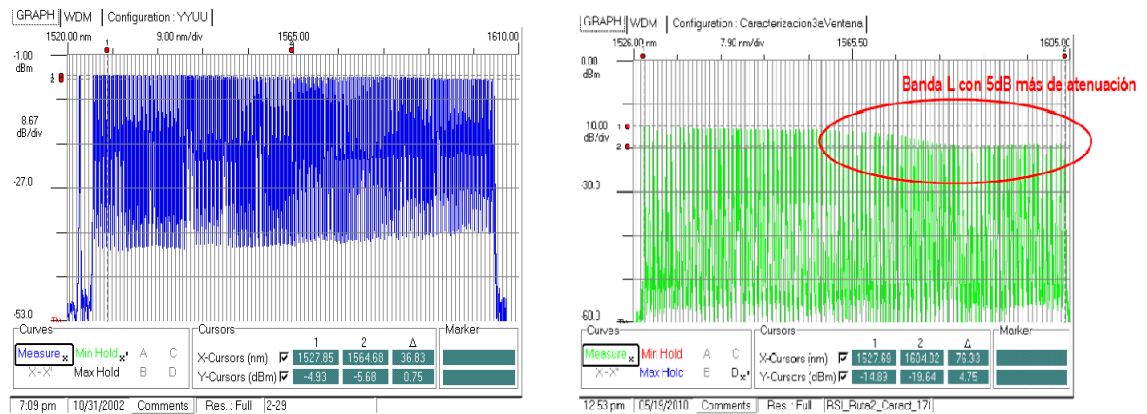


Figura 61. Respuesta plana vs Respuesta en macro-curva

En la Figura 61 se puede observar cómo, en la foto representada en azul, se puede ver una respuesta plana en frecuencia, lo que hace que la fibra de planta externa es adecuada para la transmisión. Sin embargo, en la foto representada en verde, se puede ver como existe una macro-curva en la banda L con 5dB más de atenuación que las bandas inferiores.

c. Reflectometría y CD/PMD.

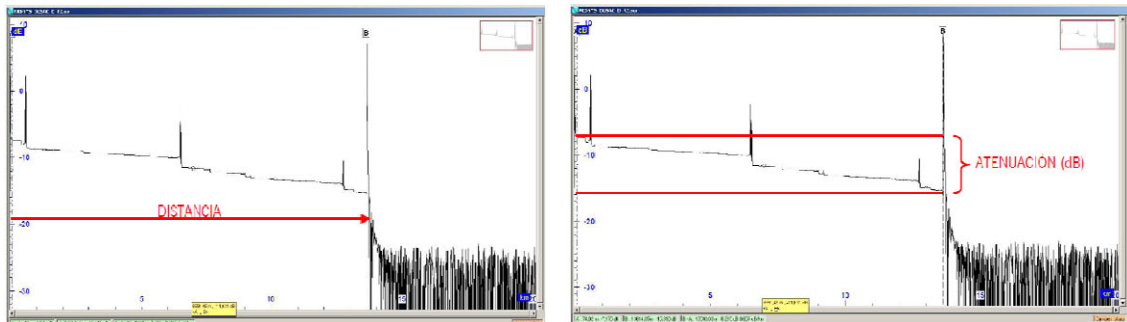
- **Medidas OTDR**

El OTDR es el elemento utilizado para estimar la longitud de la fibra y su atenuación, incluyendo pérdidas por empalmes y conectores. También puede ser utilizado para detectar fallos, tales como roturas de la fibra. Para realizar las mediciones se utilizará el medidor mostrado en la siguiente Figura 62.



Figura 62. OTDR JDSU MTS-6000

Se realizarán las pruebas de reflectometría óptica en las longitudes de onda de 1620 nm, 1550 nm y 1310 nm para ver la respuesta de la fibra, obteniendo como resultante la gráfica representada en la Figura 63.

**Figura 63. Gráfica de la prueba reflectrométrica**

El OTDR inyecta una serie de pulsos ópticos en la fibra. Desde el mismo extremo inicial de la medición de la fibra, la luz que se dispersa hacia atrás y se refleja de vuelta, donde se encuentra el índice de refracción de los cambios.

La intensidad de los pulsos de retorno se miden y se integran como una función de tiempo, y se representa gráficamente como una función de la longitud de la fibra.

Este trabajo funciona como un principio de radar o sonar, el envío de un pulso de luz de un láser muy potente, el cual es dispersado por el vidrio en el núcleo de la fibra.

El OTDR ve el final de la fibra, representado en la Figura 64, como una reflexión en la que el pulso enviado retorna con gran potencia al encontrarse como medio final el aire. Para garantizar una correcta reflexión el pulido final del conector debe ser UPC. Un conector APC puede no devolver al OTDR la señal con suficiente fuerza para realizar las mediciones.

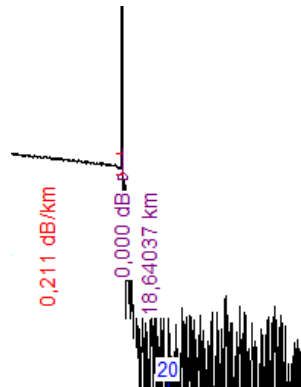


Figura 64. Gráfica del final de la fibra

El ancho del pulso (Figura 65) de un OTDR y “Zonas Ciegas”; Cuanto mayor es el ancho del pulso mayor es la zona ciega generada por este, pero más distancia de fibra se podrá analizar. Un pulso pequeño da mucha información de la fibra pero no conseguimos ver con precisión el final de esta.

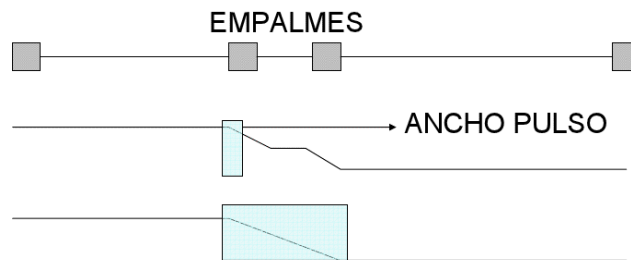


Figura 65. Gráfica representación de zonas ciegas y ancho del pulso

Los eventos reflectivos (Figura 66) son producto de conectores, empalmes mecánicos, fisuras, extremos abiertos (pulido) o extremos con conector.

En el punto de ubicación del evento se produce una fuerte reflexión en la traza, la que causa pérdidas que se visualizan como una caída vertical. La magnitud de la reflexión se define como pérdida de retorno y está determinada por la amplitud de la reflexión en decibelios.

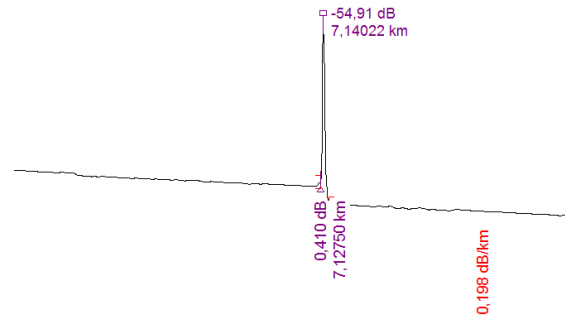


Figura 66. Gráfica representación de evento reflectivo

Los eventos no reflectivos (Figura 67) producen pérdidas pero generalmente no causan reflexiones. Éstos eventos surgen como consecuencia de empalmes de fusión, pliegues, macropliegues o, en algunas ocasiones, extremos de la fibra rotos.

De la misma forma, el OTDR los representa como una caída vertical repentina en el nivel de retrodispersión, provocando la pérdida.

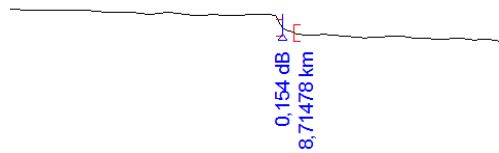


Figura 67. Gráfica representación de evento no reflectivo

- Medidas CD/PMD

Con el mismo equipo, es posible la realización de medidas de Dispersión Cromática. Analiza la evaluación de PMD para identificar secciones defectuosas en su enlace, lo que permite mejoras rentables y precisas.

d. Pruebas BERT.

La tasa de errores de bits, BERT se utiliza para cuantificar un canal que transporta datos contando la tasa de errores en una cadena de datos.

Para los sistemas de fibra óptica, los errores de bits se generan principalmente por las imperfecciones en los componentes utilizados para hacer el enlace. Estos incluyen el conductor óptico, receptor, conectores y la propia fibra. Errores de bits también se pueden introducir como resultado de la dispersión óptica y la atenuación

que pueda estar presente. También el ruido puede ser introducido en el propio receptor óptico. Normalmente, estos pueden ser los fotodiodos y los amplificadores que deben responder a los cambios muy pequeños y como resultado puede haber altos niveles de ruido presentes.

El sistema de comunicaciones de alta disponibilidad deberá poseer una tasa de error que no supere valores de $BER = 10^{-10}$, aunque en la práctica pueden lograrse valores de $BER = 10^{-12}$.

ii) Atenuación de la fibra de planta externa

Se realizan medidas de atenuación de la fibra, para dichas pruebas se introduce una señal de 1550 nm a 0 dBm en un extremo de la fibra y se comprueba la respuesta en el extremo opuesto. Con el medidor de potencia se mide la potencia transmitida y recibida en ambos extremos, obteniendo los datos de la Tabla XX

RUTA	Atenuación en dB
Ruta A	6,7 dB
Ruta B	7,6 dB

Tabla. XX. Atenuación de las rutas a 1550 nm

iii) Caracterización de la fibra de planta externa

Para realizar la caracterización se ha utilizado una fuente láser en un extremo y un analizador de espectro en el otro extremo de la fibra, realizando un barrido por todas las longitudes de onda de las bandas C y L de 3ª ventana para las fibras (desde $\lambda = 1527$ nm hasta la $\lambda 2 = 1604$ nm). En el extremo del analizador se obtuvieron las gráficas de las Figuras 68 y 69.

En todas las pruebas se introduce una señal de 0 dBm y 1550 nm en un extremo de la fibra y se mide la respuesta en el extremo opuesto. Con el medidor de potencia se mide la potencia media recibida y con el analizador la potencia de pico. Las figuras muestran la respuesta espectral de la fibra para una señal de 0 dBm en toda la tercera ventana

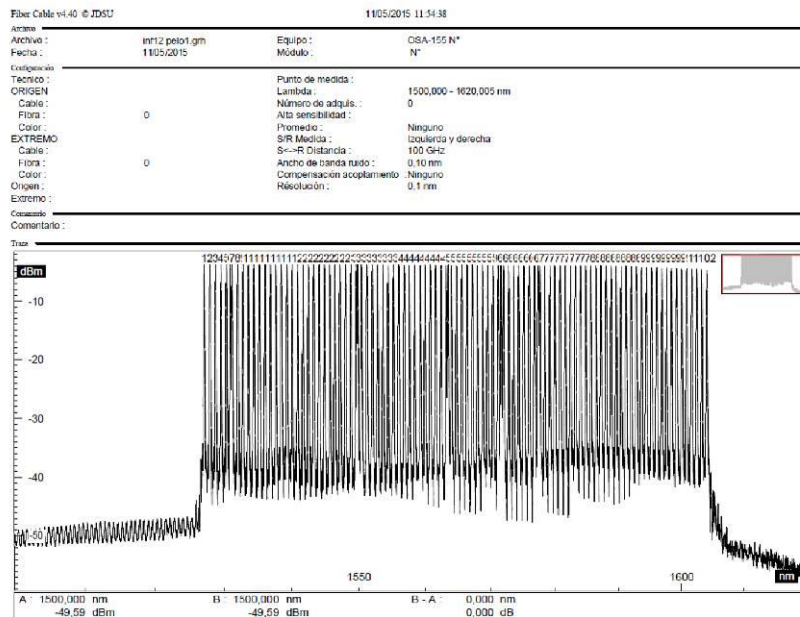


Figura 68. Caracterización de la ruta principal o ruta A

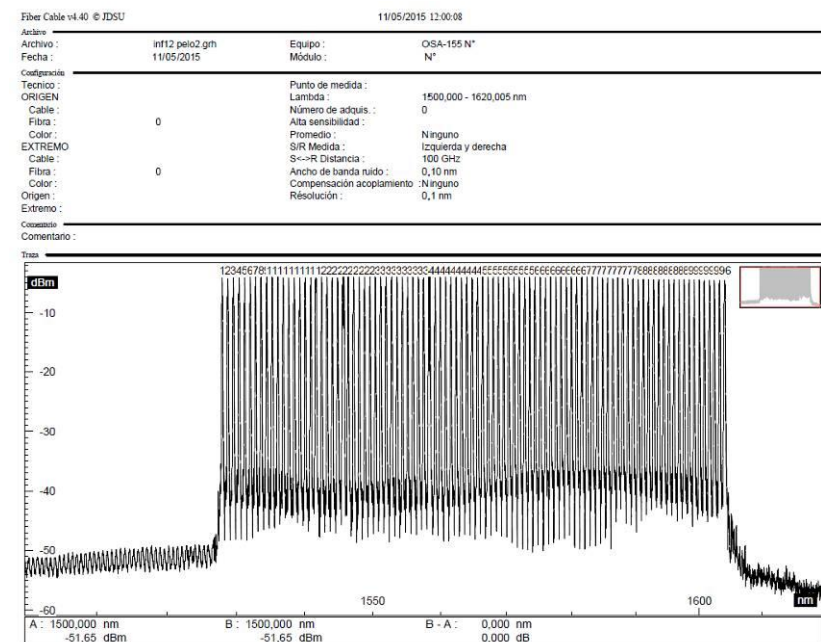


Figura 69. Caracterización de la ruta de respaldo o ruta B

Se puede observar como la respuesta espectral de las fibras para una señal en toda la tercera ventana es una respuesta plana en frecuencia en el entorno de los -5 a -8 dB, lo que hace concluir que la fibra de planta externa es adecuada para la transmisión.

iv) Resultados de las pruebas de reflectometría.

Tal y como se ha descrito anteriormente, el OTDR inyecta una serie de pulsos ópticos en la fibra. Desde el mismo extremo inicial de la medición de la fibra, la luz que se dispersa hacia atrás y se refleja de vuelta, donde se encuentra el índice de refracción de los cambios.

La intensidad de los pulsos de retorno se miden y se integran como una función de tiempo, y se representa gráficamente como una función de la longitud de la fibra.

A continuación se muestra, en las Figuras 70 y 71 los resultados de las pruebas reflectométricas de ambas rutas.

Informe OTDR

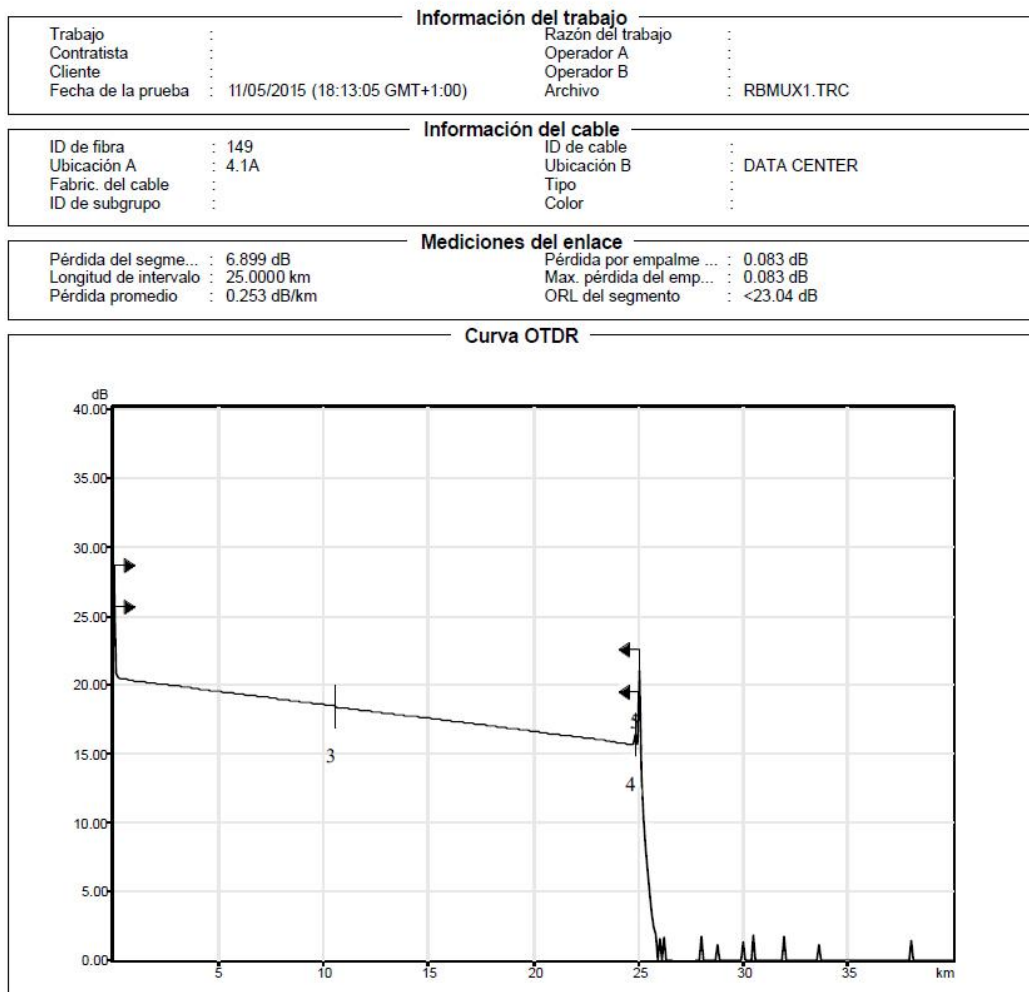


Tabla de eventos						
Nº	Ubicación (km)	Tipo de evento	Pérdida (dB)	Ref. (dB)	Atenuación (dB/km)	Cumulativo (dB)
1	0.0000	Nivel de inyección	---	>-25.5		0.000
2	0.0676	Tramo de fibra (0.0676 km)	0.101		1.500	0.101
3	10.6132	Falla reflexiva	0.987	-39.5		1.089
4	24.9014	Tramo de fibra (10.5455 km)	2.032		0.193	3.121
5	25.0000	Falla no reflexiva	0.083			3.203
		Tramo de fibra (14.2882 km)	3.129		0.190	6.333
		Falla reflexiva	0.507	-49.0		6.839
		Tramo de fibra (0.0986 km)	0.060		0.444	6.899
		Falla reflexiva	---	>-14.7		6.899

Información de marcadores						
A	:	0.0013 km, 36.688 dB	B	:	24.0772 km, 15.281 dB	
a	:	0.0000 km, 17.686 dB	b	:	24.4932 km, 8.923 dB	
Distancia de A a B	:	25.0000 km, 21.406 dB	ORL de A a B	:	*****	
Reflectancia 3-p.	:	*****	Aten. LSA A a B	:	0.199 dB/km	
Pérdida p/emp. 4-p.	:	-7.078 dB				

Configuración de prueba y cable						
Longitud de onda	:	1550 nm (SM-9µm)	Tiempo adq.	:	30 s	
Nombre de archivo	:	RBMUX1.TRC	Duración de pulso	:	100 ns	
Hardware	:	AXS-110-NS751-7	Factor helic.	:	0.00 %	
Número de serie	:	416117	Umbral de pérdida del...	:	0.020 dB	
Software	:	S/O	Umbral de reflectancia	:	-72.0 dB	
Rango	:	40.0000 km	Umbral de final de fibra	:	5.000 dB	
IOR	:	1.468325				
RBS	:	-81.87				

Figura 70. Informe de medidas de OTDR Ruta A

Informe OTDR

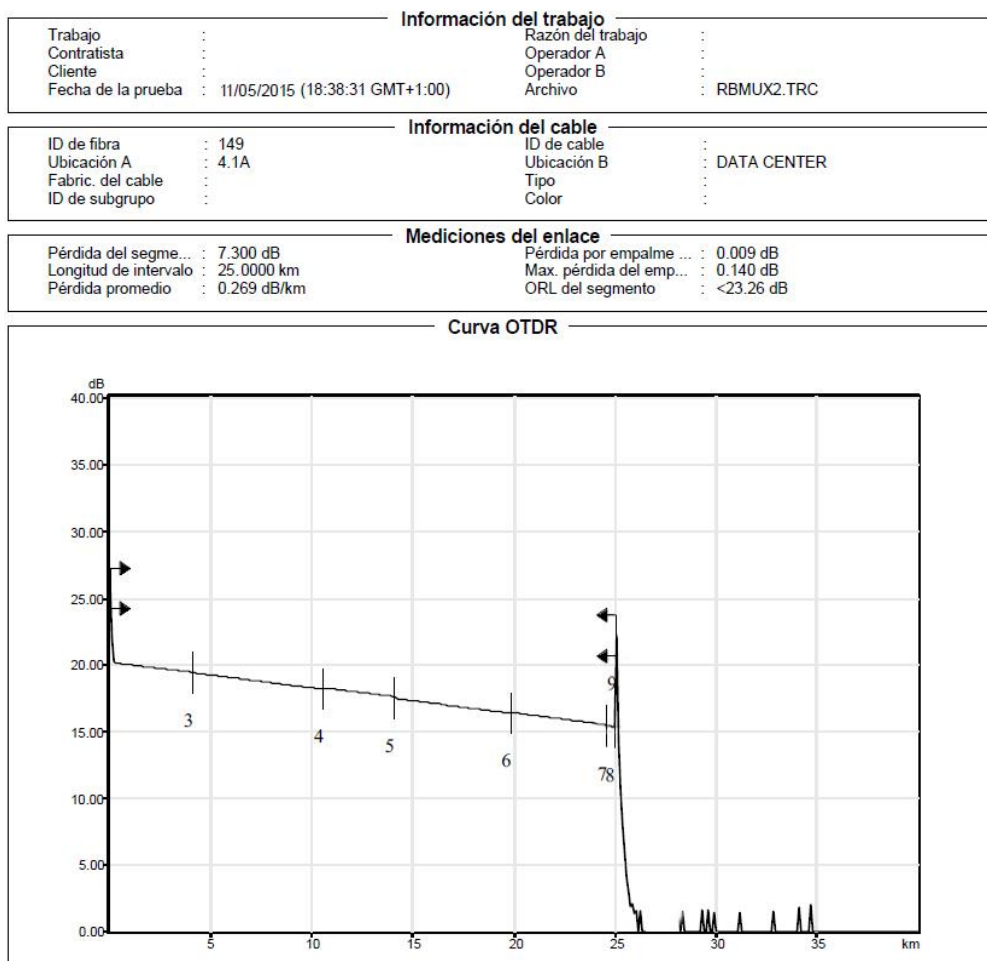


Tabla de eventos						
Nº	Ubicación (km)	Tipo de evento	Pérdida (dB)	Refl. (dB)	Atenuación (dB/km)	Cumulativo (dB)
1	0.0000	Nivel de inyección	- - -	>-25.3		0.000
		Tramo de fibra (0.0868 km)	0.130		1.500	0.130
2	0.0868	Falla reflexiva	1.323	-47.2		1.453
		Tramo de fibra (4.0235 km)	0.760		0.189	2.214
3	4.1103	Falla no reflexiva	0.031			2.244
		Tramo de fibra (6.5131 km)	1.236		0.190	3.481
4	10.6234	Falla positiva	-0.110			3.370
		Tramo de fibra (3.5194 km)	0.654		0.186	4.024
5	14.1428	Falla no reflexiva	0.140			4.164
		Tramo de fibra (5.7117 km)	1.119		0.196	5.283
6	19.8546	Falla positiva	-0.061			5.222
		Tramo de fibra (3.8028 km)	1.272		0.187	6.493
7	23.6573	Falla no reflexiva	0.047			6.540
		Tramo de fibra (0.4581 km)	0.096		0.209	6.636
8	24.1155	Falla reflexiva	0.586	-51.5		7.221
		Tramo de fibra (0.8845 km)	0.078		1.500	7.300
9	25.0000	Falla reflexiva	- - -	-15.9		7.300

Información de marcadores			
A	: 0.0013 km, 37.965 dB	B	: 24.3541 km, 10.202 dB
a	: 0.0000 km, 17.723 dB	b	: 24.7714 km, 0.000 dB
Distancia de A a B	: 25.0000 km, 27.763 dB	ORL de A a B	: *****
Reflectancia 3-p.	: *****	Aten. LSA A a B	: 0.194 dB/km
Pérdida p/emp. 4-p.	: 2.386 dB		

Configuración de prueba y cable			
Longitud de onda	: 1550 nm (SM-9µm)	Tiempo adq.üc.	: 30 s
Nombre de archivo	: RBMUX2.TRC	Duración de pulso	: 100 ns
Hardware	: AXS-110-NS751-7	Factor helic.	: 0.00 %
Número de serie	: 416117	Umbral de pérdida del...	: 0.020 dB
Software	: S/O	Umbral de reflectancia	: -72.0 dB
Rango	: 40.0000 km	Umbral de final de fibra	: 5.000 dB
IOR	: 1.468325		
RBS	: -81.87		

Figura 71. Informe de medidas de OTDR Ruta B

Se puede concluir que la atenuación de las fibras, en cuanto a los datos acumulativos se encuentra entre los 6-8 dB, resultado similar al de las mediciones en los apartados anteriores y que indican que las rutas son aptas para la transmisión.

iv) Medidas de dispersión Cromática

A continuación se muestran los resultados de las medidas de Dispersión Cromática de ambas rutas.

- Resultados de la Ruta A

Chromatic Dispersion Report

General Information

Filename :		Cable ID :	LM2-32-3 -- CH2-47-3
Test date :	08/05/2015	Fiber ID :	B
Test time :	3:08(GMT+01:00)	Customer :	
Job ID :		Company :	
Comments :			

Location A

Location : Cpd1
Operator :
Unit's model :
Unit's s/n :

Location B

Location : Cpd2
Operator :
Unit's model :
Unit's s/n :

Results

Lambda Zero (nm)	Slope (ps/(nm ²))
1322,71	2,4906

Dispersion at 1550 nm : 453,29 ps/nm
Maximum Dispersion : 567,64 ps/nm
Measured Fiber Length: 25,000 km

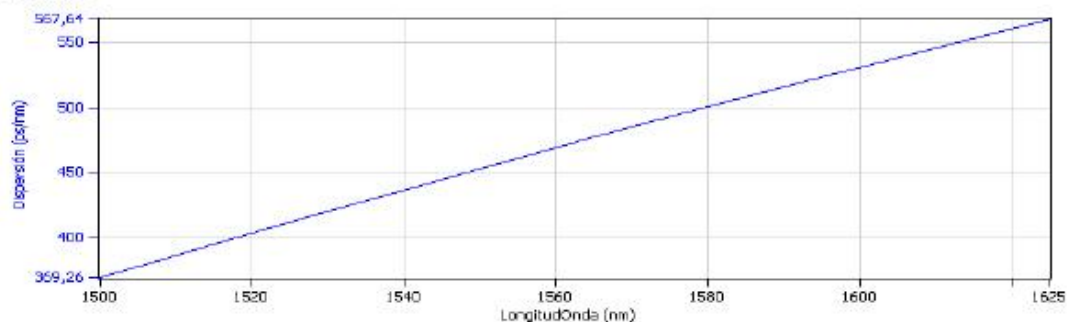
Test Parameters

Acq. From :	1500 nm	Step :	---
Acq. To :	1625 nm	Time :	---

Test Settings

Results From :	1500 nm	Fiber type :	G.652 NDSF
Results to :	1625 nm	RGD data Fit :	3-Term Sellmeier
Fiber length :	---		

Graphic



CD Table

Wavelength (nm)	Dispersion (ps/nm)	Dispersion Coef. (ps/(nm ² km))	RGD (ps)	Fitted RGD	RGD Deviation (ps)	Used
1500.00	369.26	13.55				Yes
1517.86	400.07	14.68				Yes
1535.71	429.98	15.78				Yes
1553.57	459.04	16.85				Yes
1571.43	487.29	17.89				Yes
1589.28	514.78	18.89				Yes
1607.14	541.55	19.88				Yes
1625.00	567.84	20.83				Yes

Figura 72. Informe de medidas de Dispersión Cromática Ruta A

- Resultados de la Ruta B**

Chromatic Dispersion Report

General Information

Filename : Cable ID : LM2-32-4 -- CH2-47-4
 Test date : 08/05/2015 Fiber ID : B
 Test time : 3:23(GMT+01:00) Customer :
 Job ID : Company :
 Comments :

Location A

Location : Cpd1
 Operator :
 Unit's model :
 Unit's s/n :

Location B

Location : Cpd2
 Operator :
 Unit's model :
 Unit's s/n :

Results

Lambda Zero (nm)	Slope (ps/(nm ²))
1324,26	2,5153

Dispersion at 1550 nm : 455,37 ps/nm
 Maximum Dispersion : 571,16 ps/nm
 Measured Fiber Length: 25,000 km

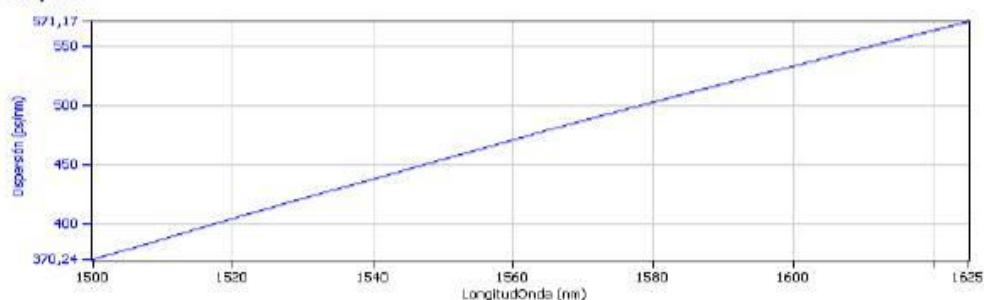
Test Parameters

Acq. From : 1500 nm Step : ---
 Acq. To : 1625 nm Time : ---

Test Settings

Results From : 1500 nm Fiber type : G.652 NDSF
 Results to : 1625 nm RGD data Fit : 3-Term Sellmeier
 Fiber length : ---

Graphic



Wavelength (nm)	Dispersion (ps/nm)	Dispersion Coef. (ps/(nm ² km))	RGD (ps)	Fitted RGD	RGD Deviation (ps)	Used
1500.00	370.24	13.62				Yes
1517.86	401.46	14.77				Yes
1535.71	431.75	15.89				Yes
1553.57	461.19	16.97				Yes
1571.43	489.79	18.02				Yes
1589.29	517.64	19.05				Yes
1607.14	544.74	20.04				Yes
1625.00	571.17	21.02				Yes

Figura 73. Informe de medidas de Dispersión Cromática Ruta B

v) Pruebas de BERT

Una cualidad de los equipos de transporte óptico de Fibernet es la posibilidad de lanzar un BERT desde el propio equipo, sin la necesidad de utilizar un equipo externo.

Tal y como se ha descrito en la descripción de los equipos, en los anexos II y III se desarrolla la operación de cada uno de los equipos.

Para la medición del BERT, una vez dentro de la plataforma de gestión de cada equipo, se accede a la pestaña BERT y se configura la prueba de tasa de bit erróneo (Bit Error Rate Test).

Se puede configurar para lanzar la prueba en diferentes escenarios:

1. Local check: se lanza la prueba hacia el lado local.
2. Internal check: se lanza la prueba interna al equipo.
3. Remote check: se lanza la prueba hacia el lado de línea.

Se realiza la prueba desde el equipo CMUX4+ para los servicios de alta capacidad. En la Figura 74 se puede ver la plataforma con los resultados de la prueba de BERT.

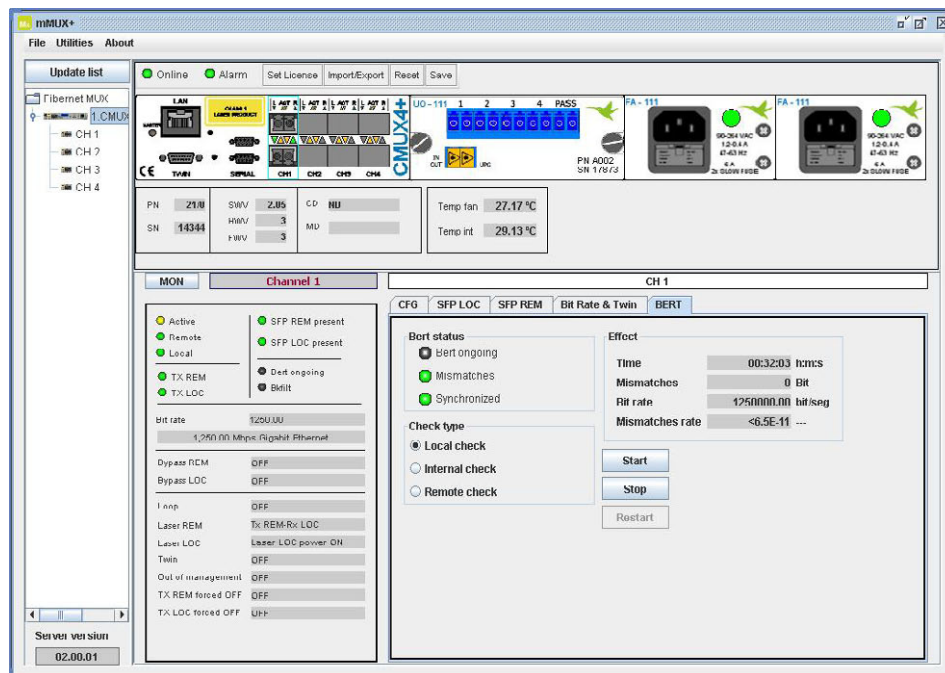


Figura 74. Prueba de BERT para servicios de 1 Gbps

Los cuadros de “Bert status” y de “Effect” indican el estado la prueba.

vi) Análisis de las pruebas

• Análisis de las medidas reflectométricas

Se realiza una revisión exhaustiva de las medidas obtenidas y se determina que en el enlace entre CPD Principal y CPD de Respaldo, hay eventos que introducen eventos de falla que producen pérdidas considerables. Dichas fusiones son las siguientes:

- La medida de la Ruta de fibra A o principal, muestra dos puntos a destacar:
 - 600 metros, presenta una pérdida de aproximadamente 3 dB (Evento 2)
 - 10.610 metros, presenta una pérdida de aproximadamente 2 dB (Evento 3)
- La medida de la Ruta de fibra B o de respaldo, muestra tres puntos a destacar:
 - 800 metros, presenta una pérdida aproximada de 1 dB ((Evento 2)
 - 4.110 metros, presenta con una pérdida de aproximadamente 1 dB (Evento 3)

- 19.854 metros, presenta una pérdida de aproximadamente 1 dB (Evento 6)

Pese a que la atenuación acumulativa total se encuentre entre los 6-8 dB, considerándose la fibra apta para la transmisión WDM, se identifican estos puntos como puntos de mejora en el enlace.

- **Análisis de la caracterización DWDM**

Para cada uno de los vanos de fibra medidos, se obtiene que las atenuaciones de las longitudes de onda en toda la tercera ventana de transmisión sufren una atenuación prácticamente idéntica, con un máximo que ronda 1dB de penalización en longitudes de onda altas. Por lo tanto, se puede concluir que la respuesta en frecuencia es plana y, por tanto, está indicada para uso de equipamiento DWDM.

Además, este hecho nos indica que no existen macrocurvaturas en la fibra.

- **Análisis de las medidas de CD**

El CD nos indica que los resultados están dentro de lo normal. Una dispersión cromática de 360 ps/nm y 570ps/nm en las distintas longitudes de onda, lo que se considera que está dentro de un comportamiento normal.

La dispersión cromática media por kilómetro es menor o igual que 18 ps/nm.km en frecuencias intermedias de tercera ventana (1550nm). La conclusión es que estas medidas, para las distancias en cada tramo, son las esperadas y que todas las fibras tienen las mismas propiedades ya que esta medida es parte de la propiedad intrínseca de una fibra estándar G.652.

- **Análisis de las medidas de PMD**

El PMD nos da un valor absoluto para las fibras analizadas, sin indicar en qué punto kilométrico se producen las degradaciones. Las causas del PMD elevado pueden ser introducidas por un estrés físico en la fibra óptica debido a las condiciones en las que se encuentre en su recorrido (aplastamiento, deformación, etc).

Los análisis de PMD muestran que los 2,5ps y 2,4ps de ambas rutas califican de óptimos para servicios de 1 GbE y FC-8Gbps.

No obstante, esta conclusión estará siempre sujeta a las especificaciones técnicas indicadas por el fabricante de la electrónica de red que utilice este enlace de fibra óptica.

- **Análisis de las pruebas de BERT**

En este caso se puede ver como se ha dejado “correr” la prueba de BERT aproximadamente 32 minutos, en ese tiempo, no se han detectado errores, por ello, se indica un error menor a $6,5 \times 10^{-11}$.

Por tanto, la prueba es satisfactoria.

vii) Fotos de la instalación

- **CPD Principal**

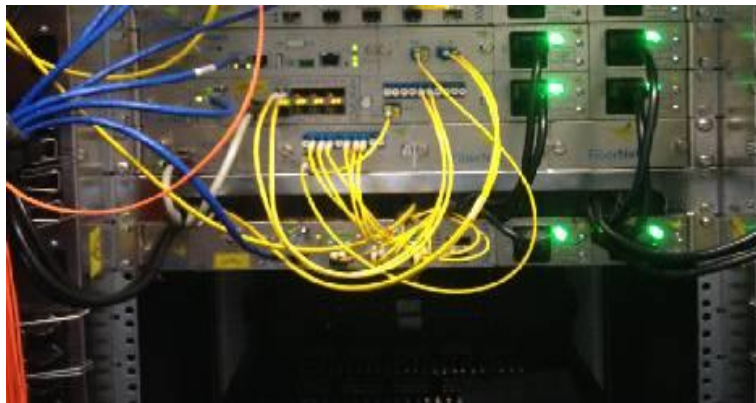


Figura 75. Foto CPD Principal

- **CPD de Respaldo**

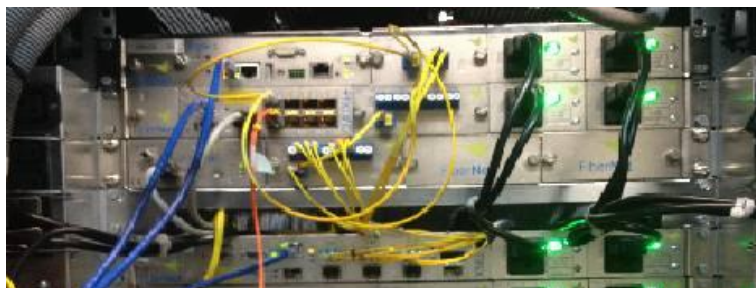


Figura 76. Foto CPD de Respaldo

7.9. Presupuesto

A continuación se presenta, de manera orientativa, el presupuesto necesario para llevar a cabo la implementación del sistema:


#####		C.I.F. B-82148727	<div> <div>Maqueta TFM</div> <div>Infraestructura con equipamiento MUX+</div> <div>A/A.</div> </div>		
C/ Torres Quevedo, 7 Parque Tecnológico de Madrid 28760 Tres Cantos (Madrid)					
Teléfono : 0034 91-807 65 20 Fax : 0034 91-807 65 23					
E-mail:					
POS.	DESCRIPCION DE LOS TRABAJOS	Cantidad	Precio unitario	Total	
	Infraestructura de Sistemas MUX+				
1	SISTEMAS WDM MUX+ Series				
	Equipamiento base				
	CMUX4+	2	1.874,60 €	3.749,20 €	
	Equipamiento base para 1 puerto multiprotocolo				
	LIC-1CH-CMUX4+	4	605,64 €	2.422,56 €	
	Licencia por puerto CMUX4+ (Requiere interfaz linea y usuario)				
	XMUX4+	2	2.105,32 €	4.210,64 €	
	Equipamiento base para 4 puertos multiprotocolo 8/10 Gbps (requiere licencia SW)				
	LIC-1CH-XMUX4+	6	894,04 €	5.364,24 €	
	Licencia por puerto XMUX4+ (Requiere interfaz linea y usuario)				
	FA 220V 1RU	8	346,08 €	2.768,64 €	
	Fuente de alimentación familia MUX+ y OSW-3. 220v.				
	Componentes ópticos				
	FMD-8	2	1.874,60 €	3.749,20 €	
	Módulo de multiplexación óptica de 8 longitudes de onda FMD-8 (CWDM ó DWDM)				
	Interfaces linea				
	FB-SFP CW-1.25-SR	2	692,16 €	1.384,32 €	
	Interfaz 1 Gbps, corto alcance (40km) CW				
	XFP DWDM 8G-10G	6	3.172,40 €	19.034,40 €	
	Interfaz 8/10 Gbps - DWDM - 80 km				
	Interfaces usuario				
	FB-SFP LX /SX / Electrico	2	135,67 €	271,33 €	
	Interfaz usuario 1Gbps - 1300nm - 850nm - Electrico				
	XFP 8/10G SX/LX	6	706,30 €	4.237,80 €	
	Interfaz 8/10 Gbps - 850 nm 20 km				
	Módulo de Conmutación				
	OSW-3	2	5.768,00 €	11.536,00 €	
	Switch óptico para red CWDM y DWDM (Sistema Completo sin FA)				
	FA 220V 1RU	4	346,08 €	1.384,32 €	
	Fuente de alimentación familia MUX+ y OSW-3. 220v.				
	NOTA El cliente proporcionará un punto de acceso remoto en cada uno de los 2 Centros para gestión fuera de banda y los routers ADSL o elementos necesarios.				
	TOTAL INVERSIÓN EQUIPAMIENTO			60.112,65 €	
	INSTALACIÓN Y PUESTA A PUNTO	2	850,00 €	1.700,00 €	
	Instalación y Pruebas de Integración (Pruebas de BERT, Medidas de potencia, etiquetado, etc.)				
	Servicio Instalación y configuración de sistemas C/DWDM				
	* Precio Por nodo.				
	SERVICIO DE MANTENIMIENTO PRIMER AÑO (Nivel 1 incluido)	1	3.005,63 €	3.005,63 €	
	Servicio de mantenimiento anual 7x24 (año I)				
	SUBTOTAL			64.818,29 €	
	I.V.A			21%	
	TOTAL			72.736,31 €	

Tabla. XXI. Presupuesto estimado para la instalación

7.10. Mejoras propuestas

Localización de la falla en tiempo real.

Como se ha podido ver, el OTDR es capaz de identificar y localizar con precisión eventos individualizados en un enlace óptico, por esta razón. El OTDR emite un tren de pulsos sobre en la fibra, en cuyo interior tiene lugar una serie de incidencias debidas a conectores, empalmes, irregularidades, curvaturas y defectos.

De acuerdo a las características descritas en el párrafo anterior, ¿Por qué no aprovecharlas para calcular, en tiempo real, el punto exacto donde se produce el corte o avería de la fibra? Con ello se podría reducir el tiempo de resolución de la avería, así como la optimización de los recursos.

La implementación del Switch Óptico (OSW-3), permite revelar problemas cómo roturas de fibras o codos, empalmes de fibra deficientes, conectores dañados u otros problemas que degradan o destruyen el funcionamiento de los servicios. También revela los problemas de seguridad, tales como “grifos de fibra” ilegales que ponen en peligro la integridad de los datos en una transmisión crítica.

Con la funcionalidad OTDR se añade la posibilidad de determinar la ubicación exacta de la falla.

Al detectarse una caída en la señal, además de enviarse las correspondientes señales de alarma a los sistemas de gestión, se inicia un proceso de localización mediante el uso de un OTDR al que previamente se ha encaminado ópticamente mediante un conmutador óptico al vano o vanos de fibra involucrados en la avería.

Posteriormente a la detección de avería y la toma de medidas reflectométricas, se envía al sistema de gestión la posición del punto donde se encuentra la rotura para que se desencadenen las acciones de reparación adecuadas.

Se aportaría la capacidad de solucionar problemas de manera más eficiente y con precisión sobre las redes ópticas nuevas y las ya existentes. En última instancia, la funcionalidad de disponer de un OTDR integrado y automático acorta el tiempo de operación, por lo que reduce el tiempo de inactividad y mejora la seguridad de las

aplicaciones, eliminando sorpresas y permitiendo a los clientes y/o operadores localizar y eliminar los problemas de fibra.

Los operadores o los clientes con fibra propia de red podrán utilizar dicha funcionalidad para supervisar y solucionar problemas de enlaces de fibra de hasta 100 kilómetros.

El sistema FIBERSEC de Fibernet, permite aportar la funcionalidad descrita en cualquier sistema ya desplegado, independientemente del fabricante del equipamiento de transporte óptico.

7.11. Futuras líneas de trabajo.

A día de hoy ya se pueden ver los primeros sistemas de comunicaciones ópticas apoyados en la fotónica con el fin de poder cubrir la gran demanda de ancho de banda requerido.

A mediados de 2012, se publicó la fabricación de fibras ópticas de cristal fotónico o microestructuradas que tienen una distribución simétrica de agujeros en su sección transversal.

El cristal fotónico, es una estructura constituida por variaciones periódicas del índice de refracción que se caracterizan por tener una “banda prohibida” que se puede diseñar a voluntad, con el fin de permitir o impedir la propagación de fotones con determinadas energías.

A continuación se puede ver en la figura 77, como se concibe la idea de la fibra óptica de cristales fotónicos, así como una pequeña gráfica de su comportamiento.

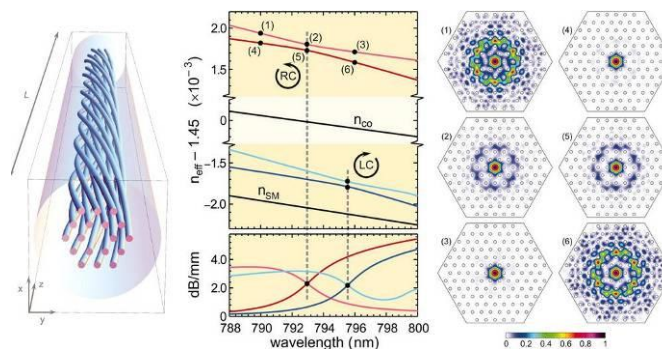


Figura 77. Esquema de fibra óptica de cristales fotónicos.

En la “banda prohibida” no existe refracción de los fotones, produciéndose en consecuencia una reflexión total de la luz, propiedad que podemos aplicar a la fabricación de guías de onda.

Su principal ventaja es la posibilidad de construirlas con núcleos muy pequeños, lo cual acrecenta los efectos no lineales, así como con bandas de propagación monomodo muy extensas

En la actualidad, existen prototipos en donde la distribución de agujeros se torsiona (rota en espiral) a lo largo de la longitud de la fibra. Este efecto introduce una quiralidad (objeto que no es superponible con su imagen especular y carece de ejes de rotación impropios) en la distribución de agujeros en el recubrimiento (*cladding*), alrededor del núcleo central, que permite la propagación multimodo en fibras que, sin ella, serían monomodo e introduce un nuevo grado de libertad para manipular la transmisión de luz en fibra óptica gracias a la polarización de la luz.

Del mismo modo, es posible que en un futuro próximo, sea habitual ver transceptores (SFPs) fotónicos, los cuales puedan hacer elevar la densidad de los enlaces basados en fibra óptica.

El pasado mes de febrero, durante el Congreso Internacional de Circuitos de Estado Sólido (ISSCC 2015) realizado en la ciudad de San Francisco, California, se presentó un transceptor fotónico de CMOS híbrido cuyo objetivo es conseguir incrementar la densidad de los enlaces de fibra óptica con velocidades de hasta 4 x 25 GB/s.

El sistema fue sometido a una serie de experimentos para obtener el rendimiento operativo del chip y de acuerdo a los ingenieros arrojó cero errores en las pruebas ‘loopback’ de 10 GB/s para cada uno de los cuatro canales WDM, además otra prueba en la que se ejecutaron dos canales al mismo tiempo se documentaron resultados satisfactorios. El consumo dinámico de energía se halló en menos de 2pJ/bit.

En términos de escalabilidad tecnológica el chip puede elevar el ancho de banda al adoptar tecnología complementaria CMOS y añadiendo más canales WDM.

En la figura 78, se puede ver el diseño del prototipo diseñado por IBM, el cual fue presentado en la “Conferencia en Láseres y Electro-Óptica (CLEO 2015)” realizada entre el 10 y el 15 de Mayo de 2015 en San José, California, con el que persigue proporcionar respuestas a los retos de los grandes bancos de datos,, tanto si están a unos pocos centímetros como si lo están a unos pocos kilómetros de distancia entre ellos, y mover terabytes de datos con de pulsos de luz a través de fibras ópticas.

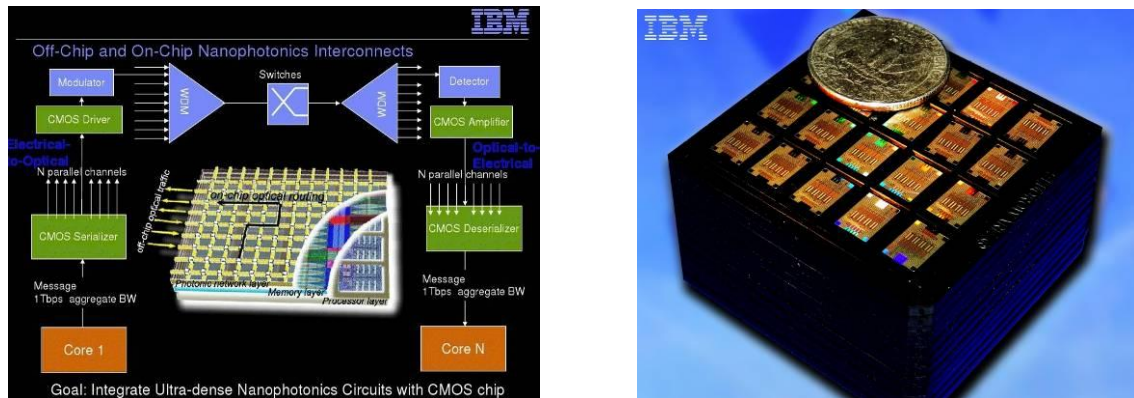


Figura 78. Diseño prototipo chip fotónico de IBM

Los transceptores fotónicos, transmisores y receptores de datos sobre una sola fibra óptica, esperan jugar un papel importante en la siguiente generación de conectividad en CPDs. La plataforma de fotónica permitirá integrar alta densidad y reducir el consumo de energía, además de conseguir alto rendimiento y bajos costos de fabricación.

Esta tecnología ahora es vista como el futuro de los “chips” para comunicación, donde los sistemas ocuparán mayores cantidades de ancho de banda principalmente en plataformas robustas como los centros de datos o ‘datacenters’.

7.12. Conclusiones.

Es posible concluir que los sistemas WDM permiten incrementar enormemente la capacidad de los sistemas de transmisión SDH sin requerir de desarrollos tecnológicos significativos y sin alterar las arquitecturas de red ya implantadas.

En la actualidad, la tecnología WDM es altamente recomendable para las operadoras de telecomunicaciones que disponen de una red de fibra óptica y cuyo ancho de banda se esté saturando como consecuencia del crecimiento continuo de la demanda de servicios.

Del mismo modo, los sistemas requieren una flexibilidad real y una clase de inteligencia distribuida que con WDM es posible ofrecer de manera transparente ya que, es compatible con multitud de protocolos y con cualquier modo de transferencia. Además WDM puede ofrecer una capacidad de hasta 100 Gbps dedicado para cada servicio.

Para los requerimientos que se planteaban en el presente proyecto, se puede ver como se ha conseguido el envío de servicios multiprotocolo (Ethernet y Fiber Channel) y de capacidades diferentes (1 Gbps y FC-8 Gbps), por un solo vano de fibra óptica, garantizando el ancho de banda dedicado de cada servicio y sin introducir latencia alguna (excepto la intrínseca de la fibra).

Gracias a la tecnología WDM, permite una capacidad de crecimiento en canales flexible así como el envío de servicios multiprotocolo desde 1 Gbps hasta 10 Gbps independientemente de la electrónica de red que se disponga en capas superiores a la capa física.

Todos los indicadores inducen a pensar que el mercado para fabricantes y usuarios de componentes y equipos WDM continuará creciendo aún cuando la complejidad de la propia tecnología crezca del mismo modo y a la misma velocidad.

Tal y como se ha podido ver, las líneas futuras de trabajo están focalizadas en el mundo de la fotónica, con el fin de poder obtener mayores capacidades mediante dispositivos más eficientes.

ANEXOS

Anexo I: Características técnicas CMUX4+

Características

- Hasta 4 lambdas CWDM por enlace de fibra
- Ampliación hasta 16 lambdas C / DWDM por enlace de fibra mediante la concatenación de equipos
- Regeneración 2R / 3R
- Coste de espaciado físico de 1U (incluido el multiplexor óptico pasivo)
- Acceso total a través del panel frontal del equipo
- Redundancia de fuentes de alimentación y módulos de ventilación
- Bajo consumo de potencia
- Instalación sencilla, puesta en marcha inmediata
- Topologías punto a punto, punto a multipunto, estrella, bus, anillo, mallada
- Redundancias 1+1 y 1:1
- Gran variedad de funciones de operación: BERT local y remoto, bucles, medidas de potencia, etc.
- Interfaz gráfica de usuario (GUI) completa para operar con el sistema vía HTTPS
- Gestión a través de SNMPv2, compatible con cualquier plataforma SNMP
- Gestión Local

Aplicaciones

- Extensión SDH / SONET
- Extensión redes SAN y Gigabit Ethernet
- Módulo Add / Drop para topologías en anillo
- Regeneración de longitudes de onda

Información Técnica

PROTOCOLOS SOPORTADOS	
ESCON	
FDDI	
Ethernet	
GigabitEthernet	
Fiber Channel / FICON (1, 2, 4 Gbps)	
SDH (STM-1, STM-4, STM-16)	
OC-1, OC-3, OC-24, OC-48	
Infiniband	
INTERFAZ DE USUARIO	
SFP 850 / 1310 / 1550 nm	
Transceiver SX	
Potencia de salida mínima	-9 dBm
Potencia de salida máxima	-2,5 dBm
Sensibilidad a la entrada (10 ⁻¹²)	-15 dBm
Sobrecarga a la entrada (10 ⁻¹²)	0 dBm
Alcance máximo (2,5 / 4,25 Gbps)	70 / 150 Km
Transceiver LX	
Potencia de salida mínima	-8 dBm
Potencia de salida máxima	-3 dBm
Sensibilidad a la entrada (10 ⁻¹²)	-3 dBm
Sobrecarga a la entrada (10 ⁻¹²)	-3 dBm
Alcance máximo (2,5 / 4,25 gbps)	2 / 5 Km.
INTERFAZ DE LÍNEA	
SFP CWDM / DWDM sintonizables	
Alcance máximo	50 / 80 Km
Bandas S, C y L (1470 – 1610 nm)	
Espaciado	2,5 THz (ITU.T G.694.2)
Potencia mínima de salida	-5 dBm
Potencia máxima de salida	6 dBm
Sensibilidad a la entrada (10 ⁻¹²)	-28 dBm
Sobrecarga a la entrada (10 ⁻¹²)	-3 dBm
ELEMENTOS DE LA ARQUITETURA	
Unidad principal	
Fuentes de alimentación redundadas	
Sistema de ventilación redundado	
Unidad óptica	
Unidad de gestión. Agente de monitorización, LOG local, agente SNMP	
OSC. Canal de servicio con configuración en banda o fuera de banda	
SOFTWARE DE GESTIÓN	
Acceso a gestión vía SSH	
Acceso a gestión vía HTTPS	
Gestión y monitorización vía SNMP	
Integración SNMP en distintas plataformas de gestión (Castlerock, Spectrum, Tivoli...)	
CONDICIONES AMBIENTALES EN TIEMPO DE OPERACIÓN	
Temperatura de operación normal	0, 40 °C
Temperatura de operación extendida	-5, 55 °C
Temperatura de almacenamiento	-20, 80°C
ALIMENTACIÓN	
DC	-48 Vcc, -24 Vcc
AC	110 - 220 Vac
CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS	
432,8 x 43,6 x 230 mm	

Tabla. XXII. Características técnicas del equipo CMUX4+

Anexo II: Características técnicas XMUX4+

Características

- Hasta 4 lambdas CWDM por enlace de fibra.
- Ampliación hasta 16 lambdas C / DWDM por enlace de fibra mediante la concatenación de equipos.
- Regeneración 2R / 3R.
- Coste de espaciado físico de 1U.
- Acceso total a través del panel frontal del equipo.
- Redundancia de fuentes de alimentación y módulos de ventilación.
- Bajo consumo de potencia.
- Instalación sencilla, puesta en marcha inmediata.
- Topologías punto a punto, punto a multipunto, estrella, bus, anillo, mallada.
- Redundancias 1+1 y 1:1.
- Gran variedad de funciones de operación: BERT local y remoto, bucles, medidas de potencia, etc.
- Interfaz gráfica de usuario (GUI) completa para operar con el sistema vía HTTPS.
- Gestión a través de SNMPv2, compatible con cualquier plataforma SNMP.
- Gestión Local.

Aplicaciones

- Extensión SDH / SONET
- Extensión redes SAN y Gigabit Ethernet.
- Módulo Add / Drop para topologías en anillo.
- Regeneración de longitud de onda.
- Servicios de longitud de onda y acceso óptico metropolitano superpuestos.
- Agregación de servicios de cliente de 10Gbps dentro de longitudes de onda WDM en áreas metropolitanas, regionales y de largo alcance de manera rentable.

Información Técnica

PROTOCOLOS SOPORTADOS	Velocidad binaria
OC-192/STM-64	9.953 Gbps
10 G Ethernet WAN PHY	9.953 Gbps
10 G Ethernet LAN PHY	10.312 Gbps
10 G Fibre Channel	10.52 Gbps
8.5 G Fibre Channel	8.5 Gbps
OC-192 con G.709 FEC	10.709 Gbps
Infiniband SDR/DDR	2.5/5 Gbps
Velocidad binaria customizada	9.95 - 11.7 Gbps
INTERFAZ DE USUARIO	
SFP+	
Transceiver SX	
Potencia de salida mínima	-10 dBm
Potencia de salida máxima	-4 dBm
Sensibilidad a la entrada (10^{-12})	-7,5 dBm
Sobrecarga a la entrada (10^{-12})	0 dBm
Alcance máximo	25 Km
Transceiver LX	
Potencia de salida mínima	-8 dBm
Potencia de salida máxima	-3 dBm
Sensibilidad a la entrada (10^{-12})	-14 dBm
Sobrecarga a la entrada (10^{-12})	-3 dBm
Alcance máximo (2,5 / 4,25 gbps)	10 Km
INTERFAZ DE LÍNEA	
XFPs sintonizables	
Alcance máximo	-40 / 80 Km
Banda C (1528-1565)	
Espaciado	100 Ghz (ITU-T G.692)
Potencia de salida	0 dBm
Sensibilidad a la entrada (10^{-12})	-24 dBm

ELEMENTOS DE LA ARQUITECTURA	
Unidad principal	
Fuentes de alimentación redundadas	
Sistema de ventilación redundado	
Unidad de gestión. Agente de monitorización, LOG local, agente SNMP	
OSC. Canal de servicio con configuración en banda o fuera de banda	
SOFTWARE DE GESTIÓN	
Acceso a gestión vía SSH	
Acceso a gestión vía HTTPS	
Gestión y monitorización vía SNMP	
Integración SNMP en distintas plataformas de gestión (Castlerock, Spectrum, Tivoli...)	
CONDICIONES AMBIENTALES EN TIEMPO DE OPERACIÓN	
Temperatura de operación normal	0, 40 °C
Temperatura de operación extendida	-5, 55 °C
Temperatura de almacenamiento	-20, 80°C
ALIMENTACIÓN	
DC	-48 Vcc, -24 Vcc
AC	110 - 220 Vac
CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS	
432,8 x 43,6 x 230 mm	

Tabla. XXIII. Características técnicas del equipo XMUX4+

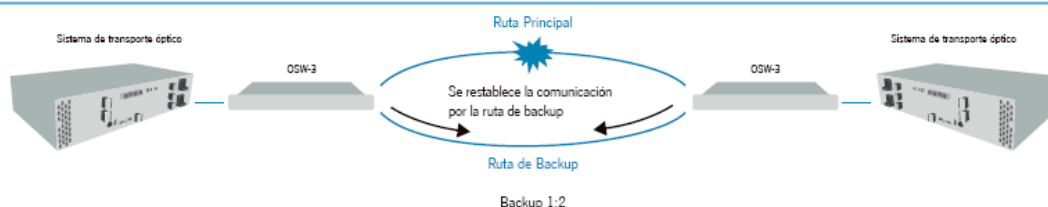
Anexo III: Características técnicas OSW-3

Características Generales

- Protección de ruta
- Diferentes criterios configurables para ejecutar la conmutación
- Conmutación física de ruta inferior a 50ms
- Medida de atenuación (ruta principal y ruta secundaria) en tiempo real
- Medida de latencia de las rutas
- Detección de intrusión en cualquier punto kilométrico de la ruta

Conmutaciones de ruta

- Conmutación ante corte de fibra óptica
- Conmutación ante aumento de atenuación
- Definición de umbrales de atenuación: alarmas preventivas y/o conmutación de ruta
- Conmutación ante intrusiones en fibra óptica
- Conmutación ante errores en la transmisión
- Conmutación por decisión humana
- Conmutación reversible configurable
- Tiempo de estabilidad configurable ante conmutación reversible



Información Técnica

HARDWARE	GESTIÓN Y OPERACIÓN
Carrier class	Interface gráfica via HTTPs
Doble Fuente de alimentación extraíble en caliente	SNMPv2
Unidad de aireación extraíble en caliente	Syslog
Soporte para equipar Fuentes de 220v, 24vcc, 48vcc de manera independiente	NTP
Posibilidad de convivencia de diferentes tipos de fuentes de alimentación	Actualizaciones de microcódigo en remoto
Tecnología latching: Ante un apagado, no hay afectación de servicio	Performance Monitoring
Consumo: 8,5 vatios	Graficación e histórico de estadísticas
Dimensiones: 432,8 x 43,6 x 230 mm	ESPECIFICACIONES ÓPTICAS
Acceso frontal	Alto budget: 35dB de atenuación máxima
Posibilidad de instalación en rack telefónico de profundidad 300	Permitibilidad de servicios a transportar en Segunda y Tercera ventana de transmisión (completas)
Accesorios disponibles para instalación en todos los tipos de Racks	Posibilidad de gran diferencia de atenuación de rutas
	Conectorización óptica: LC-UPC

Tabla. XXIV. Características técnicas del equipo OSW-3

Anexo IV: Operación CMUX4+

1. Cómo autenticarse

Una vez se accede por el navegador web al equipo mediante su IP se introducen las credenciales de acceso:

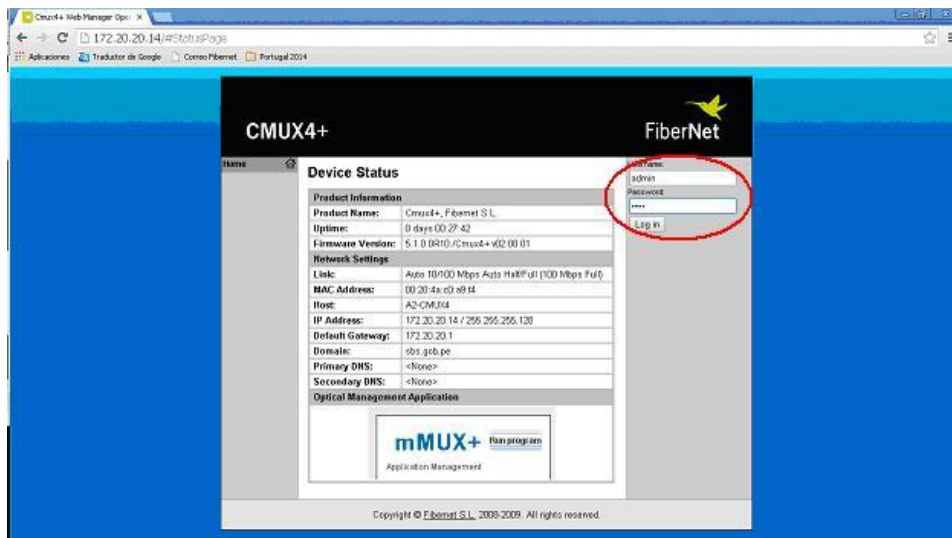


Figura 79. Ventana principal de acceso a CMUX4+

Se accede mediante el botón “Run program” y se abre la aplicación CMUX+

2. Aplicación CMUX4+

La primera ventana de la aplicación se divide en tres áreas:

1. Datos de configuración IP y SNMP
2. Log
3. Estado y Configuración del equipo.

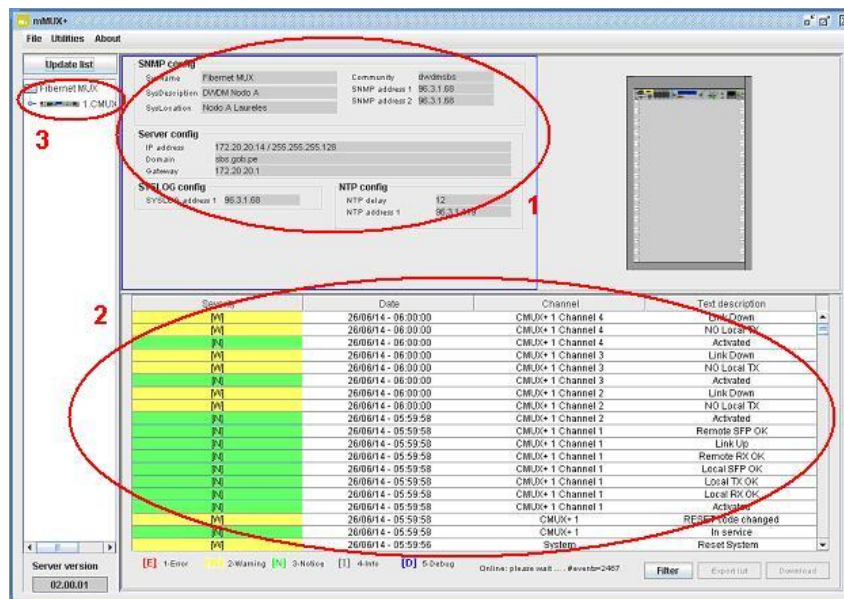


Figura 80. Página principal del equipamiento CMUX4+

El área de “Estado y Configuración” es la que se utiliza para monitorizar el equipo y cambiar las configuraciones. Para acceder, simplemente pinchamos la imagen del equipo y nos cargará la siguiente ventana:

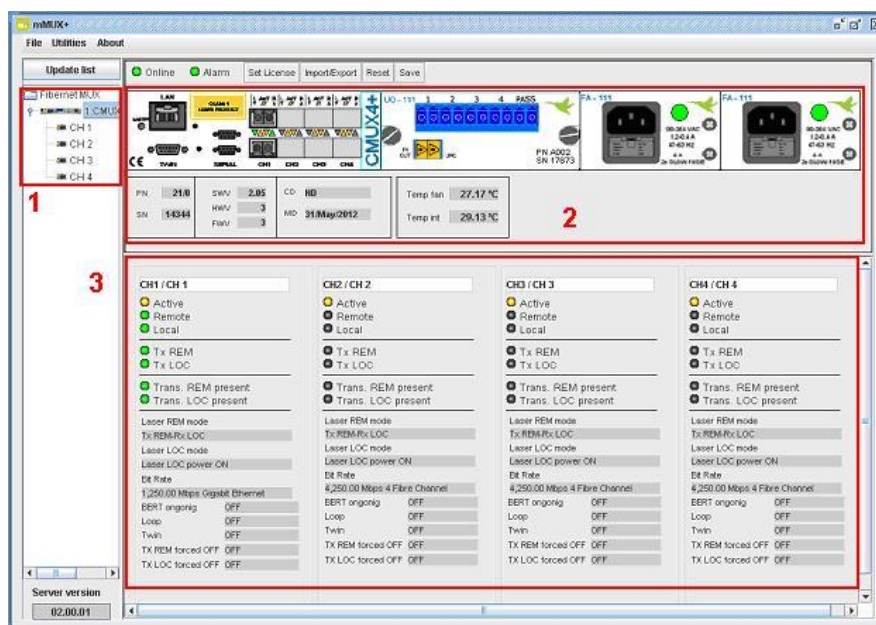


Figura 81. Estado y configuración de canales CMUX4+

Se pueden apreciar 3 zonas diferenciadas:

1. **Desglose del equipo por canales configurables:** Pinchando en cada uno de los canales se accede a la ventana específica de canal donde se puede configurar y monitorizar el estado.
2. **Vista a nivel física del estado general del equipo:** Se muestran las temperaturas, número de serie y part number y versiones HW y SW. Si se pincha en los interfaces tanto de línea (los de la fila superior) como de usuario (los de la fila inferior) se accede a la ventana específica de configuración y estado de cada canal.
3. **Estado y configuración en el que se encuentran los 4 canales:** Se puede observar el estado de los leds de los láseres y sensores de transmisión y recepción, las condiciones de encendido de los láseres, la tasa de transmisión del canal y otras configuraciones.

3. Ventana de configuración y estado de canal

En la ventana de configuración y estado de canal se sigue mostrando la visión física del equipo, el estado genérico de canal y otro nuevo cuadro con diferentes pestañas que se pasan a definir a continuación:

1. CFG
2. SFP LOC
3. SFP REM
4. Bit Rate & Twin
5. BERT

- **Pestaña CFG**

En esta pestaña se pueden configurar varias configuraciones generales del canal:

1. **Loop Configuration:** configuración del bucle. Se puede seleccionar entre 4 opciones:

- a. **Loop OFF:** ningún bucle configurado.
- b. **Loop RemoteN:** bucle hacia el lado remoto, lado de línea.
- c. **Loop Local:** bucle hacia el lado local, lado de usuario.
- d. **Loop local & remote:** bucle hacia el lado de línea y lado local a la vez.

2. Configuration:

- a. **Tx REM OFF:** apaga el láser de línea, hacia la calle.
- b. **Tx LOC OFF:** apaga el láser local, hacia el equipo de usuario

3. Remote laser power condition: condición de encendido de láser de línea

- a. **Forced remote power ON:** encendido permanente del láser de línea
- b. **TxR-RxL (default condition):** se enciende láser de línea cuando se está recibiendo señal local, del lado del equipo de usuario.
- c. **SIR mode (TxR - RxR):** se enciende el láser de línea cuando se está recibiendo señal remota del nodo del extremo opuesto.

4. Local laser power condition: condición de encendido de láser del lado local

- a. **Forced local power ON (default condition):** encendido permanente del láser del lado local.
- b. **SDH mode (TxL - RxR):** se enciende láser local cuando se está recibiendo señal remota.
- c. **OFC mode (TxL pulse):** se enciende láser local cuando se está recibiendo pulsos OFC.
- d. **TxL – RxL:** se enciende láser local cuando se está recibiendo señal del lado local.

5. Set channel out of Management: configurar el canal fuera de gestión (no tiene que ver con el servicio)

6. Set channel in management: configurar al canal dentro de gestión.

Cualquier cambio en la configuración debe aplicarse (Apply) o aplicarse y guardarse (Apply & Save). La diferencia reside en que los cambios que solo se aplican al reiniciar el equipo no quedan guardados y se pierden.

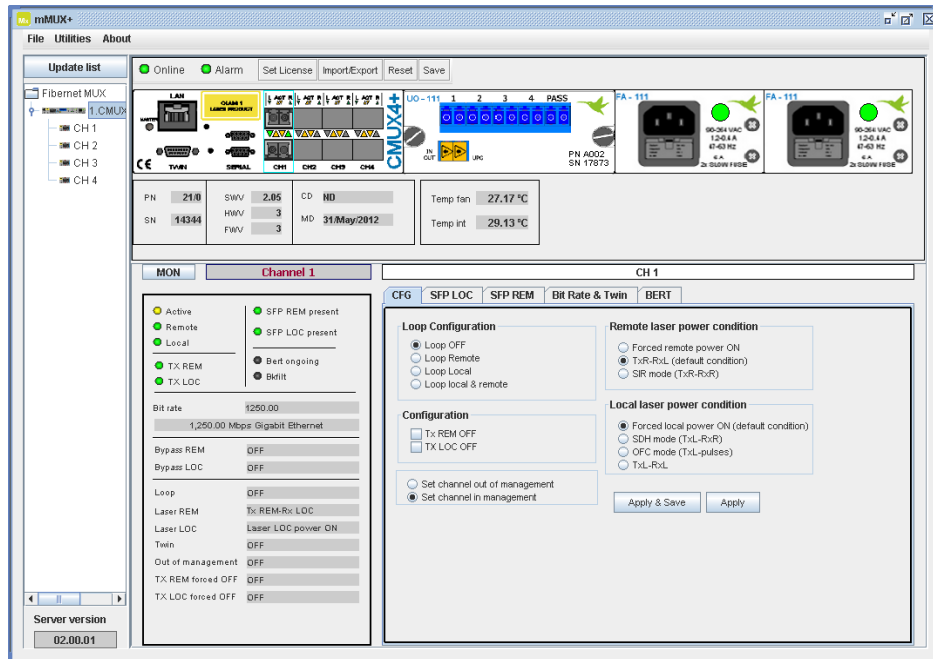


Figura 82. Pestaña CFG

- **Pestaña SFP LOC**

En esta pestaña se muestra diferentes características del interfaz local:

1. El tipo de interfaz SFP que está conectado en la bahía local (fila inferior)
2. El tipo de conector
3. La tasa de transmisión
4. Longitud de onda de transmisión
5. Tasa de transmisión máxima y mínima
6. Las potencias ópticas de transmisión y recepción
7. La temperatura interna del interfaz
8. Los protocolos compatibles con ese interfaz

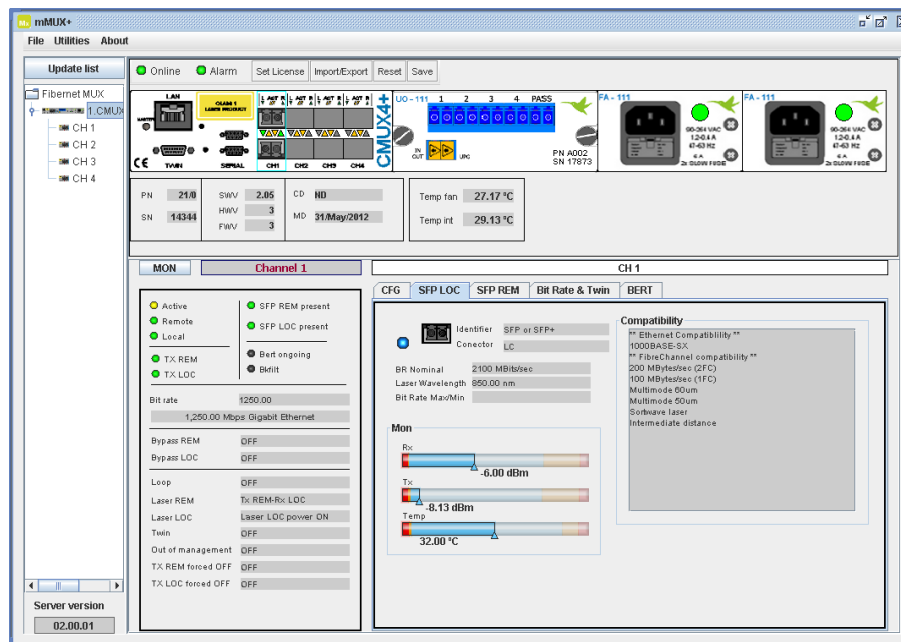


Figura 83. Pestaña SFP LOC

- **Pestaña SFP REM**

En esta pestaña se muestra diferentes características del interfaz de lado de línea:

1. El tipo de interfaz SFP que está conectado en la bahía de lado superior (fila superior)
2. El tipo de conector
3. La tasa de transmisión
4. Longitud de onda de transmisión
5. Tasa de transmisión máxima y mínima
6. Las potencias ópticas de transmisión y recepción
7. La temperatura interna del interfaz
8. Los protocolos compatibles con ese interfaz

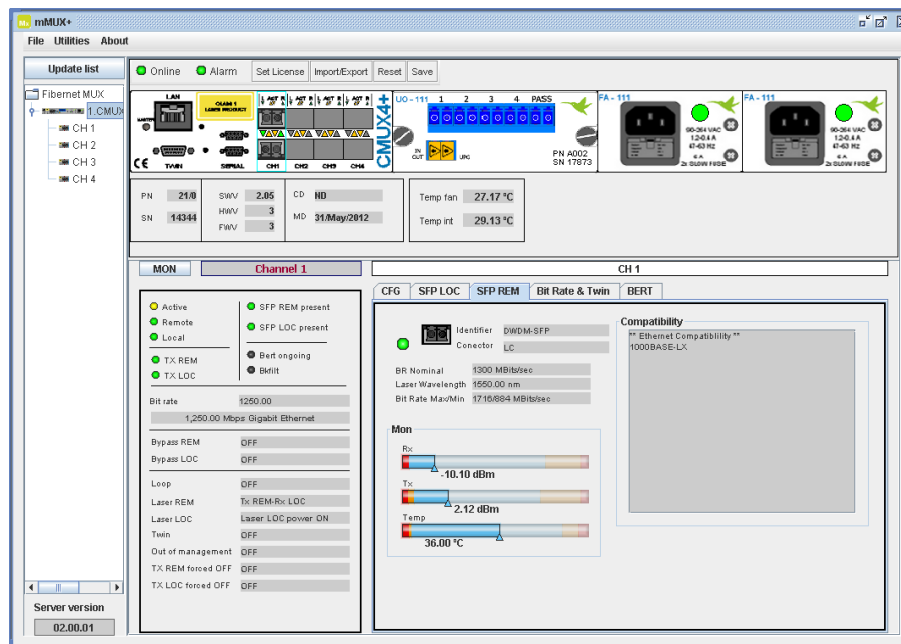


Figura 84. Pestaña SFP REM

- **Pestaña Bit Rate & Twin**

En esta pestaña se pueden configurar diferentes opciones siempre y cuando la licencia de uso las haya habilitado.

1. **TWIN Configuration:** Configuración de la redundancia hardware de canal
2. **Bypass Configuration:** Configuración para habilitar el bypass de comunicación
3. **Bit Rate Configuration:** Configuración de la tasa de transmisión

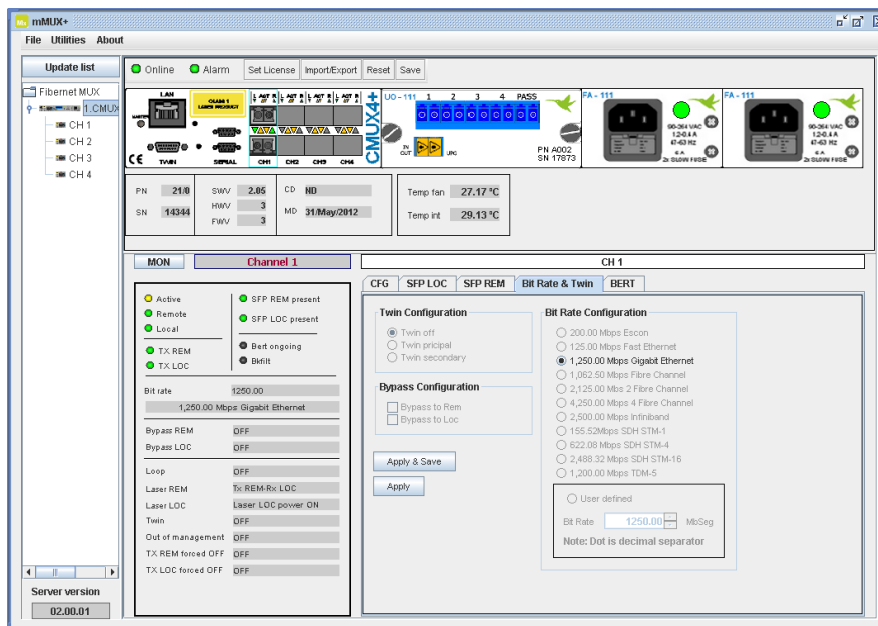


Figura 85. Pestaña Bit Rate

- **Pestaña BERT**

En la pestaña BERT se configura la prueba de tasa de bit erróneo (Bit Error Rate Test).

Se puede configurar para lanzar la prueba en diferentes escenarios:

1. **Local check:** se lanza la prueba hacia el lado local.
2. **Internal check:** se lanza la prueba interna al equipo.
3. **Remote check:** se lanza la prueba hacia el lado de línea.

Los cuadros de “Bert status” y de “Effect” indican el estado la prueba.

Para que la prueba se considere correcta los tres leds de “Bert status”(Bert ongoing, Mismatches y Synchronized) deben aparecer en verde.

En el campo “Effect” los diferentes campos muestran:

- **Time:** Tiempo que lleva corriendo la prueba
- **Mismatches:** número de errores de bit.
- **Bit rate:** tasa de transmisión.
- **Mismatches rate:** tasa de errores de bit.

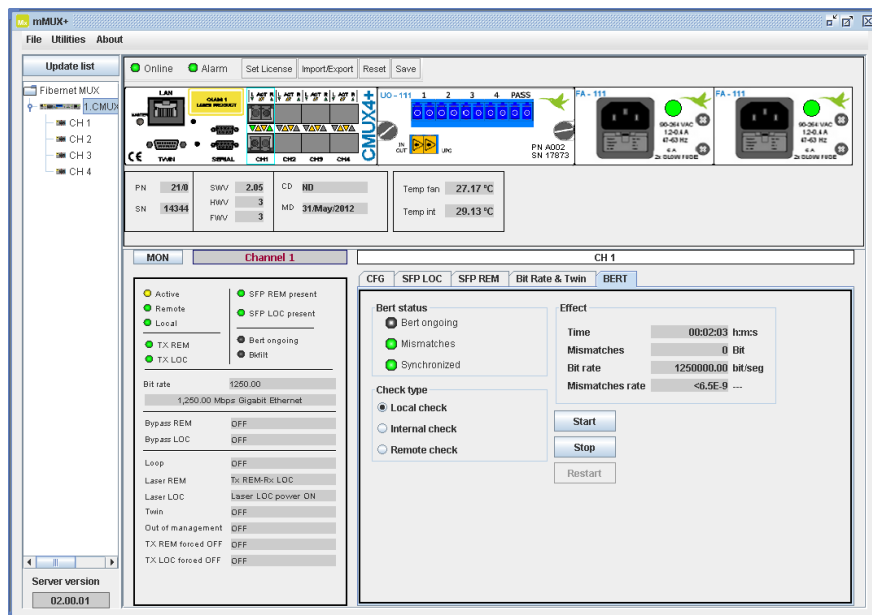
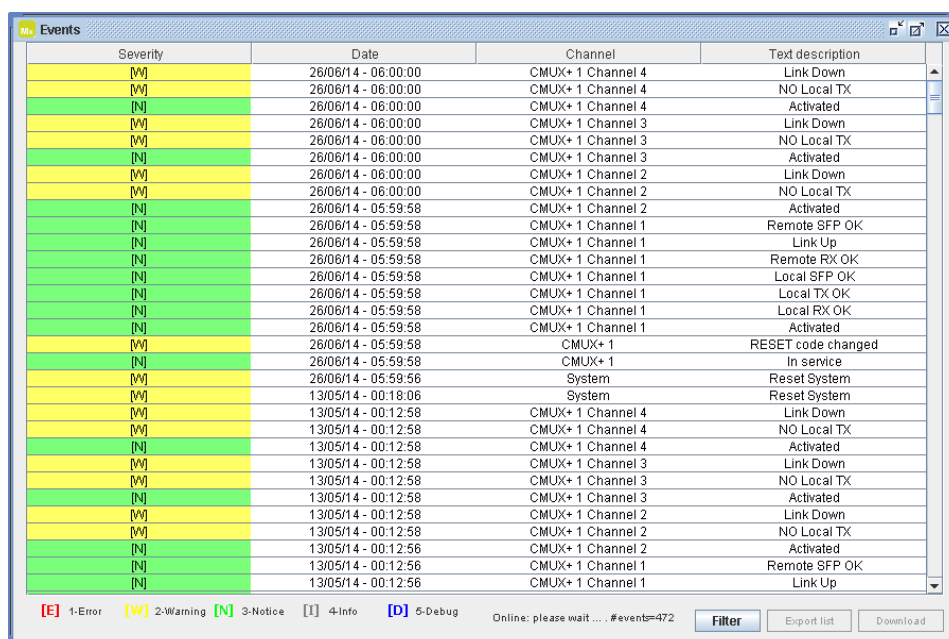


Figura 86. Pestaña BERT

- Ventana Log**

La ventana de registro de eventos se accede a través del campo “Utilities” en la barra superior de tareas de la aplicación CMUX4+.



Severity	Date	Channel	Text description
[W]	26/06/14 - 06:00:00	CMUX+ 1 Channel 4	Link Down
[W]	26/06/14 - 06:00:00	CMUX+ 1 Channel 4	NO Local TX
[N]	26/06/14 - 06:00:00	CMUX+ 1 Channel 4	Activated
[W]	26/06/14 - 06:00:00	CMUX+ 1 Channel 3	Link Down
[W]	26/06/14 - 06:00:00	CMUX+ 1 Channel 3	NO Local TX
[N]	26/06/14 - 06:00:00	CMUX+ 1 Channel 3	Activated
[W]	26/06/14 - 06:00:00	CMUX+ 1 Channel 2	Link Down
[W]	26/06/14 - 06:00:00	CMUX+ 1 Channel 2	NO Local TX
[N]	26/06/14 - 05:59:58	CMUX+ 1 Channel 2	Activated
[N]	26/06/14 - 05:59:58	CMUX+ 1 Channel 1	Remote SFP OK
[N]	26/06/14 - 05:59:58	CMUX+ 1 Channel 1	Link Up
[N]	26/06/14 - 05:59:58	CMUX+ 1 Channel 1	Remote RX OK
[N]	26/06/14 - 05:59:58	CMUX+ 1 Channel 1	Local SFP OK
[N]	26/06/14 - 05:59:58	CMUX+ 1 Channel 1	Local TX OK
[N]	26/06/14 - 05:59:58	CMUX+ 1 Channel 1	Activated
[W]	26/06/14 - 05:59:58	CMUX+ 1	RESET code changed
[N]	26/06/14 - 05:59:58	CMUX+ 1	In service
[W]	26/06/14 - 05:59:56	System	Reset System
[W]	13/05/14 - 00:18:06	System	Reset System
[W]	13/05/14 - 00:12:58	CMUX+ 1 Channel 4	Link Down
[W]	13/05/14 - 00:12:58	CMUX+ 1 Channel 4	NO Local TX
[N]	13/05/14 - 00:12:58	CMUX+ 1 Channel 4	Activated
[W]	13/05/14 - 00:12:58	CMUX+ 1 Channel 3	Link Down
[W]	13/05/14 - 00:12:58	CMUX+ 1 Channel 3	NO Local TX
[N]	13/05/14 - 00:12:58	CMUX+ 1 Channel 3	Activated
[W]	13/05/14 - 00:12:58	CMUX+ 1 Channel 2	Link Down
[W]	13/05/14 - 00:12:58	CMUX+ 1 Channel 2	NO Local TX
[N]	13/05/14 - 00:12:56	CMUX+ 1 Channel 2	Activated
[N]	13/05/14 - 00:12:56	CMUX+ 1 Channel 1	Remote SFP OK
[N]	13/05/14 - 00:12:56	CMUX+ 1 Channel 1	Link Up

Figura 87. Ventana de Logs

Anexo V: Descripción Operación XMUX4+

1. Cómo autenticarse

Una vez se accede por el navegador web al equipo mediante su IP se introducen las credenciales de acceso:

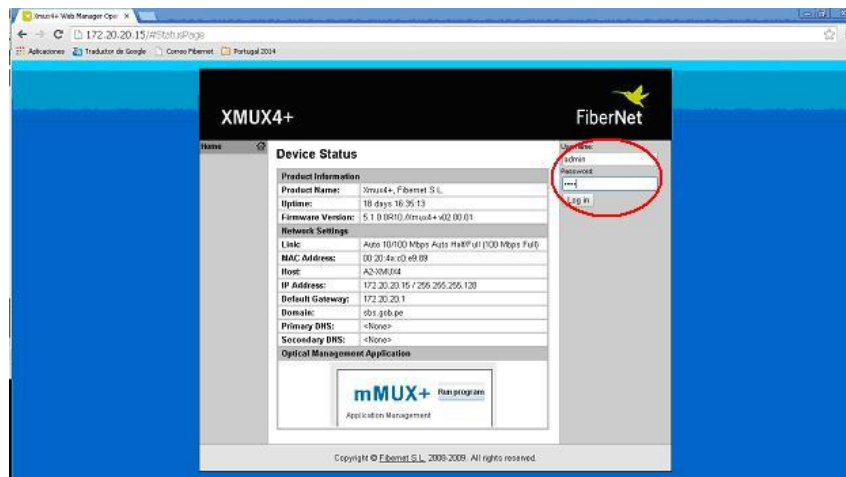


Figura 88. Ventana principal de acceso a CMUX4+

Se accede mediante el botón “Run program” y se abre la aplicación XMUX+

2. Aplicación CMUX4+

La primera ventana de la aplicación se divide en tres áreas:

1. Datos de configuración IP y SNMP
2. Log
3. Estado y Configuración del equipo.

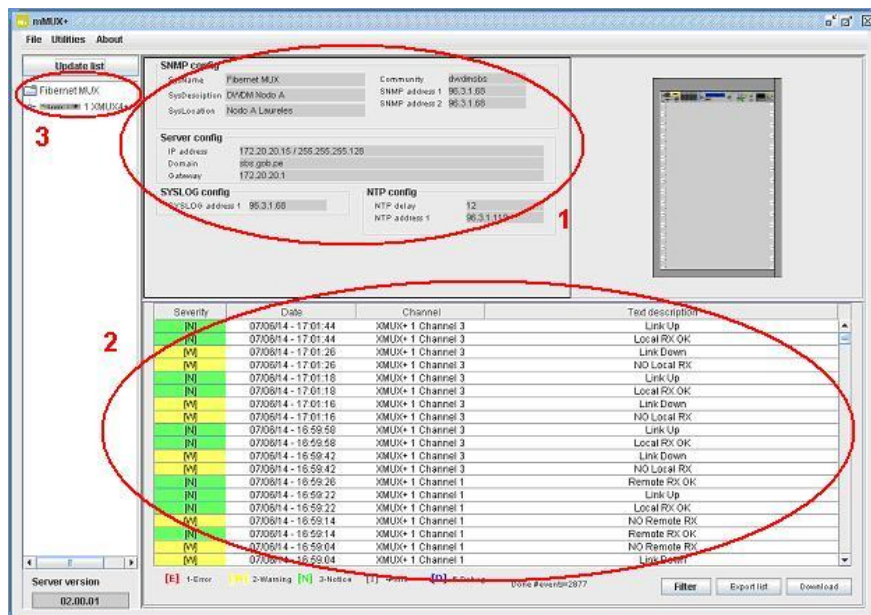


Figura 89. Página principal del equipamiento XMUX4+

El área de “Estado y Configuración” es la que se utiliza para monitorizar el equipo y cambiar las configuraciones. Para acceder, simplemente pinchamos la imagen del equipo y nos cargará la siguiente ventana:

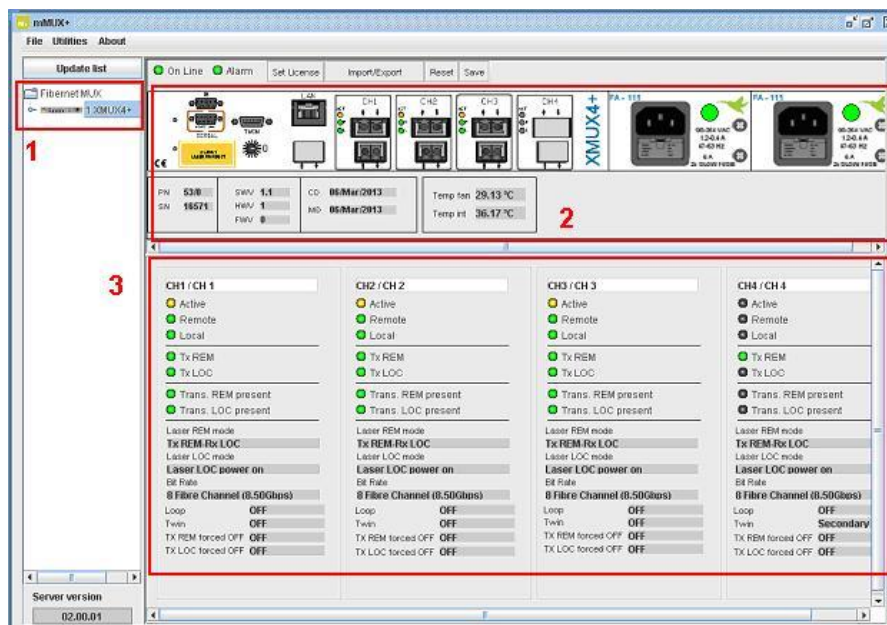


Figura 90. Estado y configuración de canales XMUX4+

Se pueden apreciar 3 zonas diferenciadas:

1. **Desglose del equipo por canales configurables:** Pinchando en cada uno de los canales se accede a la ventana específica de canal donde se puede configurar y monitorizar el estado.
2. **Vista a nivel física del estado general del equipo:** Se muestran las temperaturas, número de serie y part number y versiones HW y SW. Si se pincha en los interfaces tanto de línea (los de la fila superior) como de usuario (los de la fila inferior) se accede a la ventana específica de configuración y estado de cada canal.
3. **Estado y configuración en el que se encuentran los 4 canales:** Se puede observar el estado de los leds de los láseres y sensores de transmisión y recepción, las condiciones de encendido de los láseres, la tasa de transmisión del canal y otras configuraciones.

3. Ventana de configuración y estado de canal

En la ventana de configuración y estado de canal se sigue mostrando la visión física del equipo, el estado genérico de canal y otro nuevo cuadro con diferentes pestañas que se pasan a definir a continuación:

1. CFG
2. SFP LOC
3. SFP REM
4. Bit Rate & Twin
5. BERT

- **Pestaña CFG**

En esta pestaña se pueden configurar varias configuraciones generales del canal:

1. **Loop Configuration:** configuración del bucle. Se puede seleccionar entre 4 opciones:

- a. **Loop OFF:** ningún bucle configurado.
- b. **Loop RemoteN:** bucle hacia el lado remoto, lado de línea.
- c. **Loop Local:** bucle hacia el lado local, lado de usuario.
- d. **Loop local & remote:** bucle hacia el lado de línea y lado local a la vez.

2. Configuration:

- a. **Tx REM OFF:** apaga el láser de línea, hacia la calle.
- b. **Tx LOC OFF:** apaga el láser local, hacia el equipo de usuario

3. Remote laser power condition: condición de encendido de láser de línea

- a. **Forced remote power ON:** encendido permanente del láser de línea
- b. **TxR-RxL (default condition):** se enciende láser de línea cuando se está recibiendo señal local, del lado del equipo de usuario.
- c. **SIR mode (TxR - RxR):** se enciende el láser de línea cuando se está recibiendo señal remota del nodo del extremo opuesto.

4. Local laser power condition: condición de encendido de láser del lado local

- a. **Forced local power ON (default condition):** encendido permanente del láser del lado local.
- b. **SDH mode (TxL - RxR):** se enciende láser local cuando se está recibiendo señal remota.
- c. **OFC mode (TxL pulse):** se enciende láser local cuando se está recibiendo pulsos OFC.
- d. **TxL – RxL:** se enciende láser local cuando se está recibiendo señal del lado local.

5. Set channel out of Management: configurar el canal fuera de gestión (no tiene que ver con el servicio)

6. Set channel in management: configurar al canal dentro de gestión.

Cualquier cambio en la configuración debe aplicarse (Apply) o aplicarse y guardarse (Apply & Save). La diferencia reside en que los cambios que solo se aplican al reiniciar el equipo no quedan guardados y se pierden.

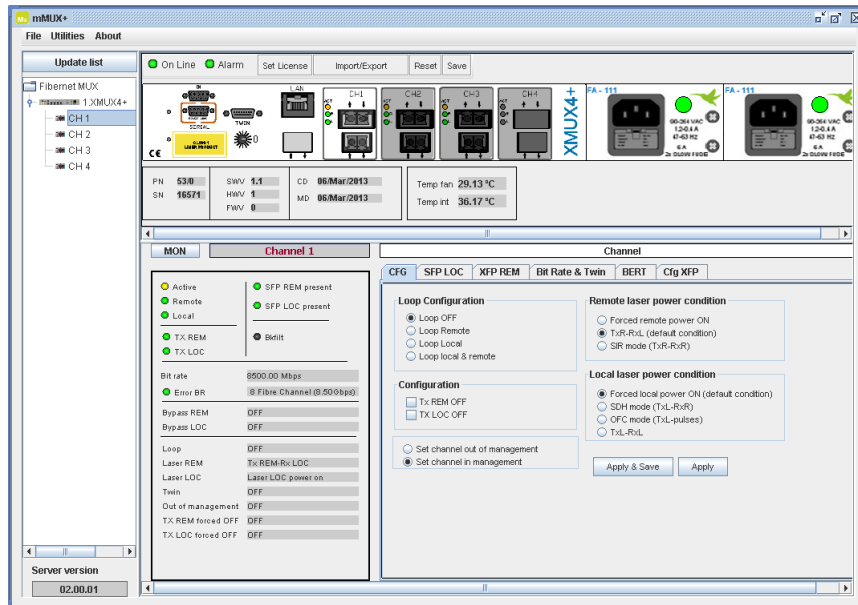


Figura 91. Pestaña CFG

- **Pestaña SFP LOC**

En esta pestaña se muestra diferentes características del interfaz local:

1. El tipo de interfaz SFP que está conectado en la bahía local (fila inferior)
2. El tipo de conector
3. La tasa de transmisión
4. Longitud de onda de transmisión
5. Tasa de transmisión máxima y mínima
6. Las potencias ópticas de transmisión y recepción
7. La temperatura interna del interfaz
8. Los protocolos compatibles con ese interfaz



Figura 92. Pestaña SFP LOC

- **Pestaña XFP REM**

En esta pestaña se muestra diferentes características del interfaz de lado de línea:

1. El tipo de interfaz XFP que está conectado en la bahía de lado superior (fila superior)
2. El tipo de conector
3. La tasa de transmisión
4. Longitud de onda de transmisión
5. Tasa de transmisión máxima y mínima
6. Las potencias ópticas de transmisión y recepción
7. La temperatura interna del interfaz
8. Los protocolos compatibles con ese interfaz

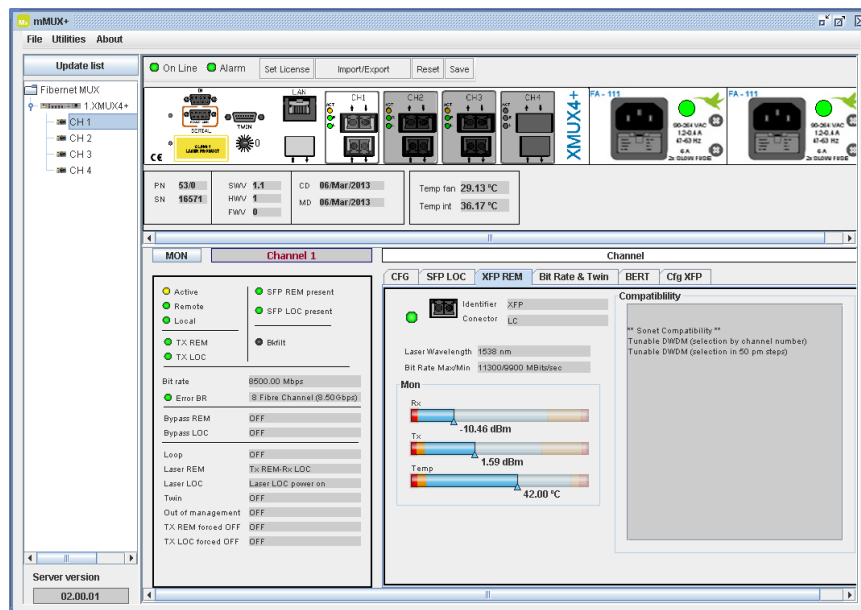


Figura 93. Pestaña XFP REM

- **Pestaña Bit Rate & Twin**

En esta pestaña se pueden configurar diferentes opciones siempre y cuando la licencia de uso las haya habilitado.

1. **TWIN Configuration:** Configuración de la redundancia hardware de canal
2. **Bypass Configuration:** Configuración para habilitar el bypass de comunicación
3. **Bit Rate Configuration:** Configuración de la tasa de transmisión

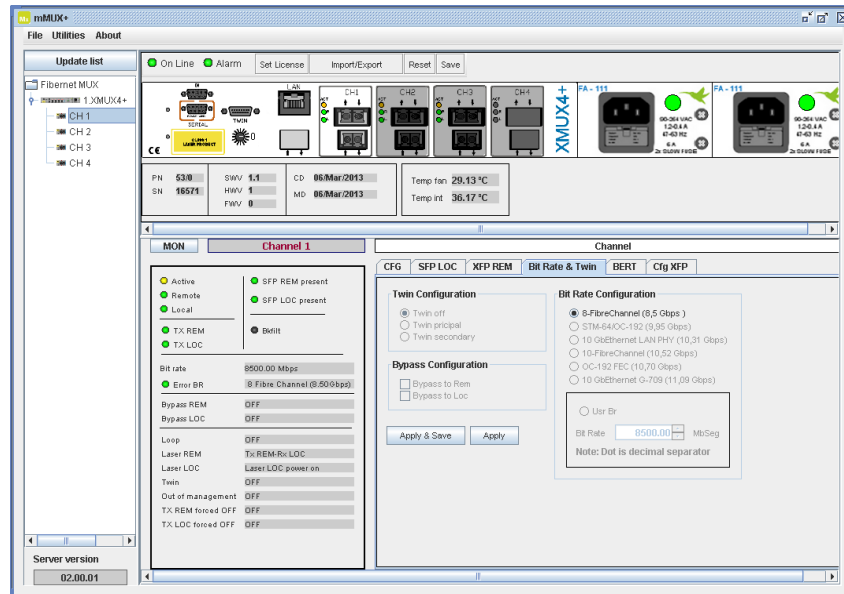


Figura 94. Pestaña Bit Rate

- **Pestaña BERT**

En la pestaña BERT se configura la prueba de tasa de bit erróneo (Bit Error Rate Test).

Se puede configurar para lanzar la prueba en diferentes escenarios:

1. **Local check:** se lanza la prueba hacia el lado local.
2. **Internal check:** se lanza la prueba interna al equipo.
3. **Remote check:** se lanza la prueba hacia el lado de línea.

Los cuadros de “Bert status” y de “Effect” indican el estado la prueba.

Para que la prueba se considere correcta los tres leds de “Bert status”(Bert ongoing, Mismatches y Synchronized) deben aparecer en verde.

En el campo “Effect” los diferentes campos muestran:

- **Time:** Tiempo que lleva corriendo la prueba
- **Mismatches:** número de errores de bit.
- **Bit rate:** tasa de transmisión.
- **Mismatches rate:** tasa de errores de bit.

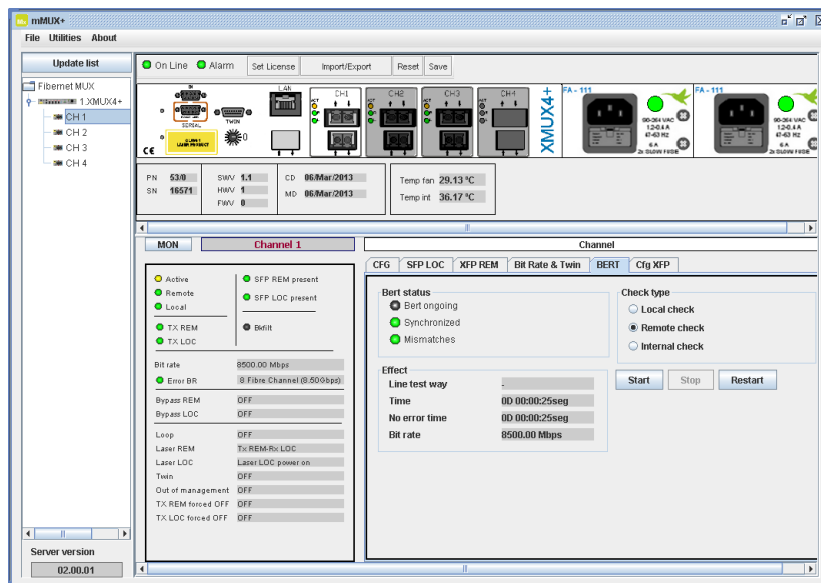


Figura 95. Pestaña BERT

- **Pestaña CFG XFP**

En esta pestaña se puede configurar la lambda de transmisión/frecuencia del XFP del lado de línea.

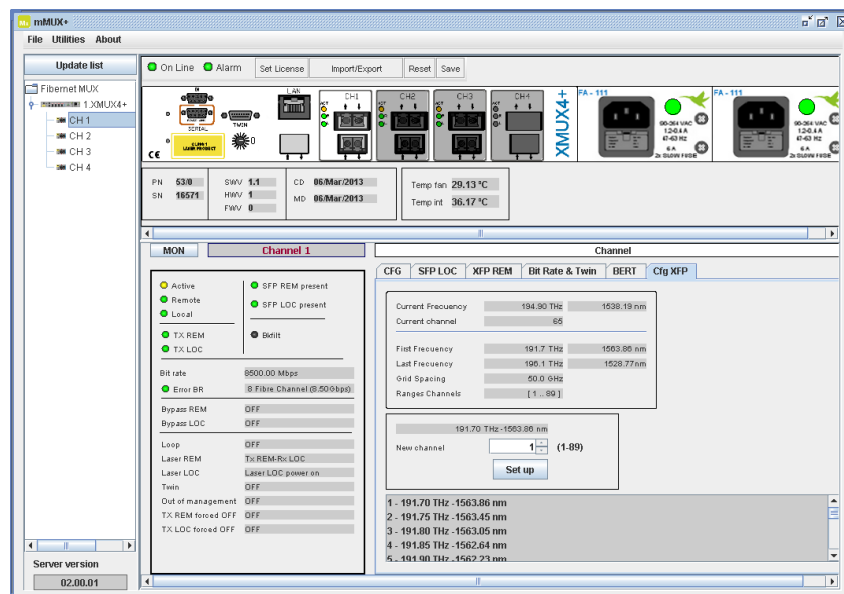
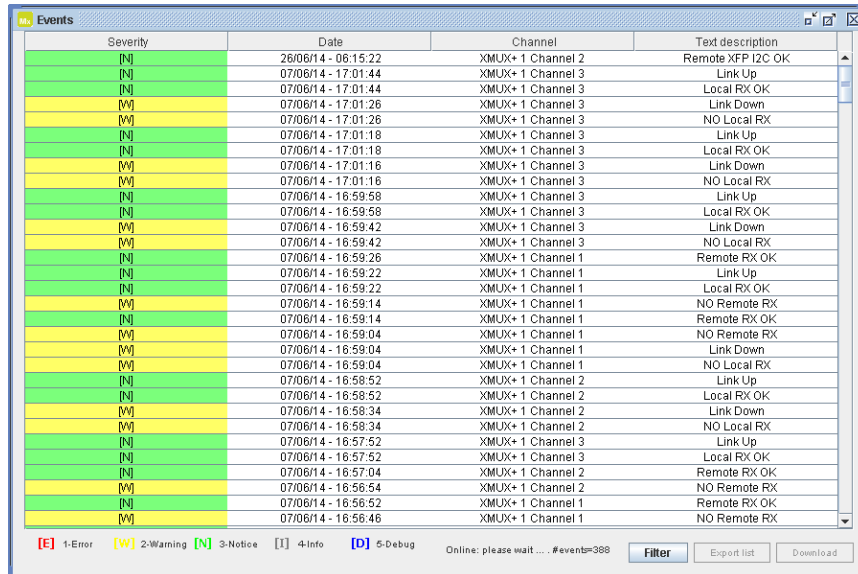


Figura 96. Pestaña CGF XFP

- **Ventana Log**

La ventana de registro de eventos se accede a través del campo “Utilities” en la barra superior de tareas de la aplicación XMUX4+.



Severity	Date	Channel	Text description
[N]	26/06/14 - 06:15:22	XMUX+ 1 Channel 2	Remote XFP I2C OK
[N]	07/06/14 - 17:01:44	XMUX+ 1 Channel 3	Link Up
[N]	07/06/14 - 17:01:44	XMUX+ 1 Channel 3	Local RX OK
[W]	07/06/14 - 17:01:26	XMUX+ 1 Channel 3	Link Down
[W]	07/06/14 - 17:01:26	XMUX+ 1 Channel 3	NO Local RX
[N]	07/06/14 - 17:01:18	XMUX+ 1 Channel 3	Link Up
[N]	07/06/14 - 17:01:18	XMUX+ 1 Channel 3	Local RX OK
[W]	07/06/14 - 17:01:16	XMUX+ 1 Channel 3	Link Down
[W]	07/06/14 - 17:01:16	XMUX+ 1 Channel 3	NO Local RX
[N]	07/06/14 - 16:59:58	XMUX+ 1 Channel 3	Link Up
[N]	07/06/14 - 16:59:58	XMUX+ 1 Channel 3	Local RX OK
[W]	07/06/14 - 16:59:42	XMUX+ 1 Channel 3	Link Down
[W]	07/06/14 - 16:59:42	XMUX+ 1 Channel 3	NO Local RX
[N]	07/06/14 - 16:59:26	XMUX+ 1 Channel 1	Remote RX OK
[N]	07/06/14 - 16:59:22	XMUX+ 1 Channel 1	Link Up
[N]	07/06/14 - 16:59:22	XMUX+ 1 Channel 1	Local RX OK
[W]	07/06/14 - 16:59:14	XMUX+ 1 Channel 1	NO Remote RX
[N]	07/06/14 - 16:59:14	XMUX+ 1 Channel 1	Remote RX OK
[W]	07/06/14 - 16:59:04	XMUX+ 1 Channel 1	NO Remote RX
[W]	07/06/14 - 16:59:04	XMUX+ 1 Channel 1	Link Down
[W]	07/06/14 - 16:59:04	XMUX+ 1 Channel 1	NO Local RX
[N]	07/06/14 - 16:58:52	XMUX+ 1 Channel 2	Link Up
[N]	07/06/14 - 16:58:52	XMUX+ 1 Channel 2	Local RX OK
[W]	07/06/14 - 16:58:34	XMUX+ 1 Channel 2	Link Down
[W]	07/06/14 - 16:58:34	XMUX+ 1 Channel 2	NO Local RX
[N]	07/06/14 - 16:57:52	XMUX+ 1 Channel 3	Link Up
[N]	07/06/14 - 16:57:52	XMUX+ 1 Channel 3	Local RX OK
[N]	07/06/14 - 16:57:04	XMUX+ 1 Channel 2	Remote RX OK
[W]	07/06/14 - 16:56:54	XMUX+ 1 Channel 2	NO Remote RX
[N]	07/06/14 - 16:56:52	XMUX+ 1 Channel 1	Remote RX OK
[W]	07/06/14 - 16:56:46	XMUX+ 1 Channel 1	NO Remote RX

[E] 1-Error [W] 2-Warning [N] 3-Notice [I] 4-Info [D] 5-Debug Online: please wait ... #events=388 Filter Export list Download

Figura 97. Ventana de Logs

Anexo VI: TRAPs de Alarmas de MUX4+

En los equipos MUX4+, tal y como se ha podido ver, existe una serie de eventos o alarmas que indican, en tiempo real, el estado o los sucesos que ocurren en cada enlace de fibra. Para ello, se definen por defecto una serie de Traps básicos de alarmas que se definen a continuación en las siguientes tablas:

TRAPS	VARIABLES	DESCRIPCIÓN	MIB publica o MIB privada
Link up	ON	Cuando el laser es ON hacia lado remoto	MIB publica
Link down	ON	Cuando el laser es OFF hacia lado remoto	MIB publica
Cold start	ON	Reset software o hardware	MIB publica

TRAPS	VARIABLES					DESCRIPCIÓN	MIB publica o MIB privada
	\$1 NÚMERO DE CMUX4+	\$2 NÚMERO DE CANAL	\$3 VALOR DEL PARAMETRO ON/OFF	\$4 VALOR DEL PARAMETRO ON/OFF	\$4 DESCRIPCIÓN		
ChannelLocalRxChange	X	X	X	X	X	Cambio en la recepción LOCAL del canal.	MIB privada
ChannelRemoteRxChange	X	X	X	X	X	Cambio en la recepción REMOTA del canal.	MIB privada
ChannelAlarmaStatusChange	X	X	X	X	X	Cambio del estado del LED de ALARMA del canal.	MIB privada
ChannelActivoChange	X	X	X	X	X	Cambio del estado del LED de ACTIVO del canal.	MIB privada
PowerLeftChange	X	X	X	X	X	Cambio en la fuente de alimentación izquierda	MIB privada
PowerRightChange	X	X	X	X	X	Cambio en la fuente de alimentación derecha	MIB privada
ConfigChange	X	X	X	X	X	Cambio en la configuración del canal.	MIB privada

Tabla. XXV. Traps básicos y eventos de equipos MUX4+

Los TRAPs de alarmas y los equipos de FIBERNET se pueden adecuar a cualquier plataforma de gestión, por lo que se pueden definir una serie de TRAPs o eventos más específicos, a continuación se puede ver un ejemplo en donde se muestra el evento ocurrido, si se muestra en la ventana de Logs del equipo y la severidad del evento.

Spanish	ToSyslog	Severity	ToTrap
En servicio	FALSE	NOTICE	FALSE
Fuera de servicio	FALSE	ERR	FALSE
Alarma ACTIVADA	TRUE	ERR	TRUE
Alarma desactivada	TRUE	NOTICE	TRUE
Link Up //Tx Remota OK	TRUE	NOTICE	TRUE
Link Down //NO Tx Remota	TRUE	WARNING	TRUE
Rx Remota OK	TRUE	NOTICE	TRUE
NO Rx Remota	TRUE	WARNING	TRUE
Tx Local OK	FALSE	NOTICE	FALSE
NO Tx Local	FALSE	WARNING	FALSE
Rx Local OK	TRUE	NOTICE	TRUE
NO Rx Local	TRUE	WARNING	TRUE
ERROR interno	FALSE	ERR	FALSE
Error interno desactiv.	FALSE	ERR	FALSE
ERROR E2PROM	FALSE	ERR	FALSE
Error E2PROM desactiv.	FALSE	ERR	FALSE
Cambio en código RESET	FALSE	ERR	FALSE
Activo	TRUE	NOTICE	TRUE
Inactivo	TRUE	WARNING	TRUE
Fuente alimentación IZQ OK	TRUE	NOTICE	TRUE
NO Fuente alimentación IZQ	TRUE	WARNING	TRUE
Fuente alimentación DER OK	TRUE	NOTICE	TRUE
NO Fuente alimentación DER	TRUE	WARNING	TRUE
BER ON	TRUE	NOTICE	TRUE
BER OFF	TRUE	NOTICE	TRUE
BACKUP ON	TRUE	NOTICE	FALSE
BACKUP OFF	TRUE	NOTICE	FALSE
Rx local o remota NO es correcta	FALSE	NOTICE	FALSE
Rx local o remota es correcta	FALSE	NOTICE	FALSE
Rx local o remota NO es FiberChannel	FALSE	NOTICE	FALSE
Rx local o remota es FiberChannel	FALSE	NOTICE	FALSE
Overflow FIFO local o remota	FALSE	NOTICE	FALSE
OK FIFO local o remota	FALSE	NOTICE	FALSE
NO Lock CDR	TRUE	NOTICE	FALSE
OK Lock CDR	TRUE	NOTICE	FALSE
Bucle local ON	TRUE	NOTICE	TRUE
Bucle local OFF	TRUE	NOTICE	TRUE
Bucle remoto ON	TRUE	NOTICE	TRUE
Bucle remoto OFF	TRUE	NOTICE	TRUE
OK SPF local	TRUE	NOTICE	TRUE
NO SPF local	TRUE	NOTICE	TRUE
OK SPF remoto	TRUE	NOTICE	TRUE
NO SPF remoto	TRUE	NOTICE	TRUE
OK I2C SFP local	FALSE	NOTICE	FALSE
ERROR I2C SFP local	FALSE	NOTICE	FALSE

Tabla. XXVI. TRAPs específicos para equipos MUX4+

Anexo VII: Descripción Operación OSW-3

1. Cómo autenticarse

Una vez se accede por el navegador web al equipo mediante su IP se introducen las credenciales de acceso:

Después se accede al equipo pinchando sobre “Run program” y se abre la aplicación OSW.

2. Aplicación mSwitch

La ventana de la aplicación se divide en distintas áreas:

1. **Menú superior:** Opciones de File, Utilities, Window y Help
2. **Iconos Accesos directos:** Accesos al submenú de Utilities (Equipment settings, Packages/Libraries y Event log)
3. **Mode:** Ventana para la selección de los tres menús principales del equipo Status, Configuration y Performance
4. **Status:** Ventana con resumen de información del estado del equipo
5. **Ventana principal:** donde se presentan las opciones seleccionadas.

Para configurar los parámetros de gestión del propio OSW-3 es necesario acceder a la opción “Equipment settings” dentro del menú “Utilities”.

Desde aquí es posible configurar en el equipo sus datos de red, SNMP, Syslog y NTP.

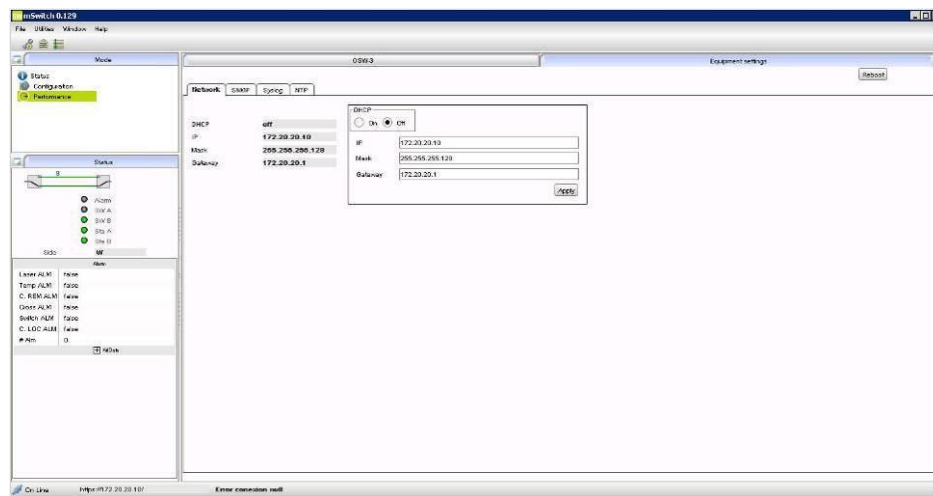


Figura 98. Principal del OSW-3

El área de status dentro del área “mode” se consulta el estado las rutas, su disponibilidad e informa de la ruta por donde actualmente se encuentra cursando el tráfico.

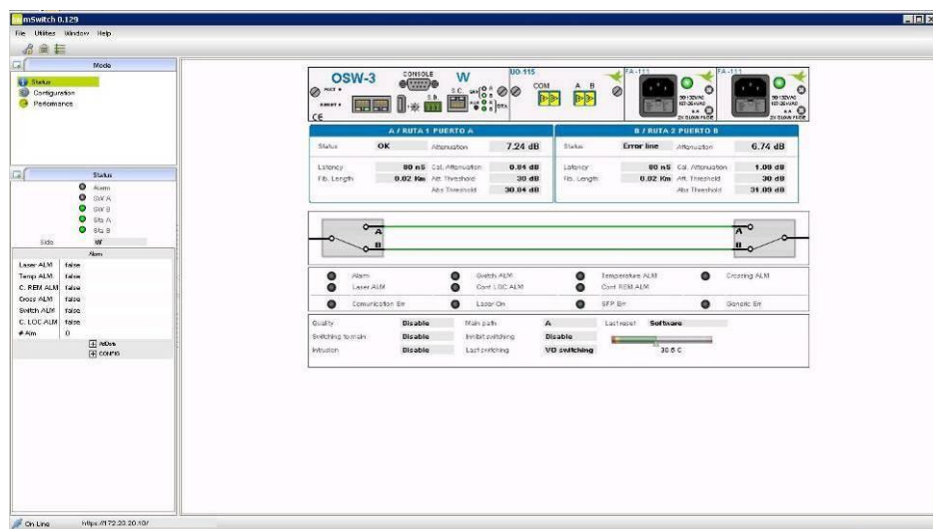


Figura 99. Status del Switch OSW-3

Mediante sus LEDs frontales se tiene una rápida visión de la situación del tráfico y del estado de las rutas. Desde esta señalización se indica:

- **Alarm:** Señaliza distintos tipos de alarmas del propio equipo o de las rutas. Se puede ver detallada en la tabla Alarm.

- **SW A:** Con el LED encendido se señala que el tráfico se encuentra cursando por ruta A
- **SW B:** Con el LED encendido se señala que el tráfico se encuentra cursando por ruta B.
- **Sta A:** Con el LED encendido se indica que la ruta A está disponible para poder cursar tráfico por ella.
- **Sta B:** Con el LED encendido se indica que la ruta B está disponible para poder cursar tráfico por ella.

Con esta pantalla seleccionada se puede visualizar su tarjeta de control, su módulo óptico y sus fuentes de alimentación.

En el área “Configuration” se puede configurar el equipo en las siguientes pestañas:

- **Description:** Configuración de los nombres de las rutas y su índice de refracción correspondiente.
- **Conmutation type:** Dentro de este apartado se seleccionan los tipos de conmutación de ruta seleccionados, atenuación e intrusión, y sus umbrales de atenuación.
- **Advanced settings:** En esta pestaña se calibran con los valores iniciales que sirven de referencia para la monitorización
- **Performance:** Se ajustan los valores de muestreo de datos de las rutas para la elaboración y presentación de estadísticas en la funcionalidad de performance.

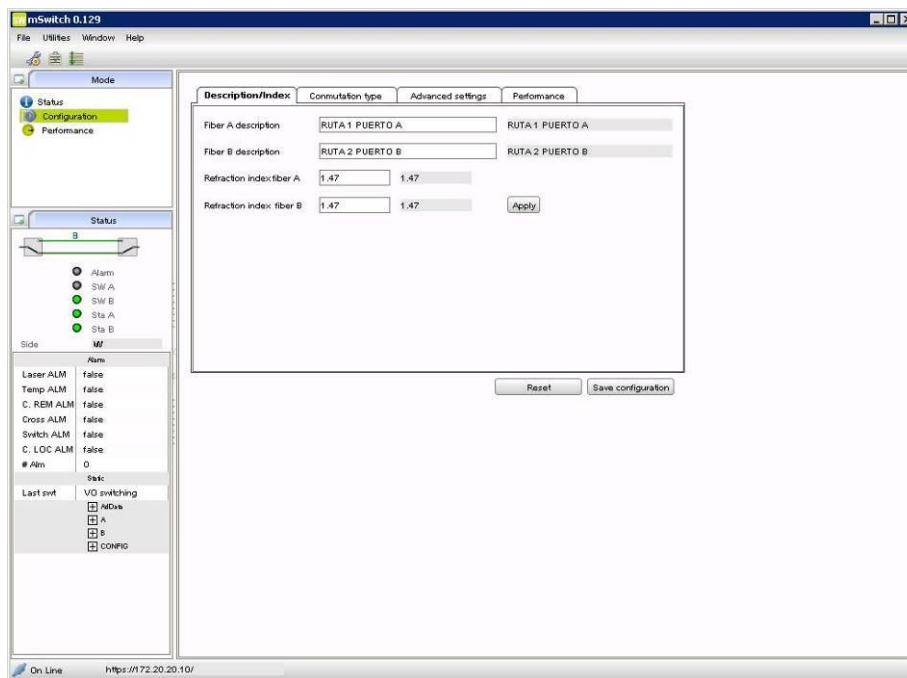


Figura 100. Configuración del OSW-3

En el área “Performance” se presentan los valores estadísticos de las rutas, donde se pueden evaluar los tiempos de disponibilidad de la ruta, histórico con registro de distintos valores producidos en la ruta, el sumatorio de eventos en las rutas y su representación.

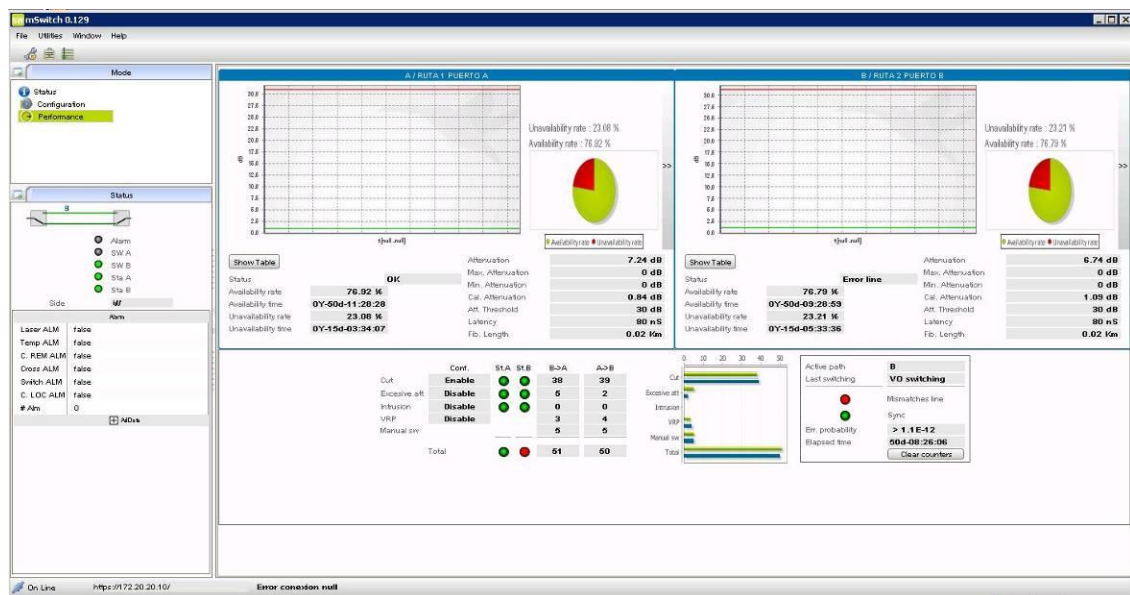


Figura 101. Área de análisis del Switch OSW-3

Para un análisis más exhaustivo de los eventos ocurridos en el switch, como conmutaciones de rutas, cambios en la atenuación u otros eventos que también tengan que ver con el propio equipo se puede consultar el log.

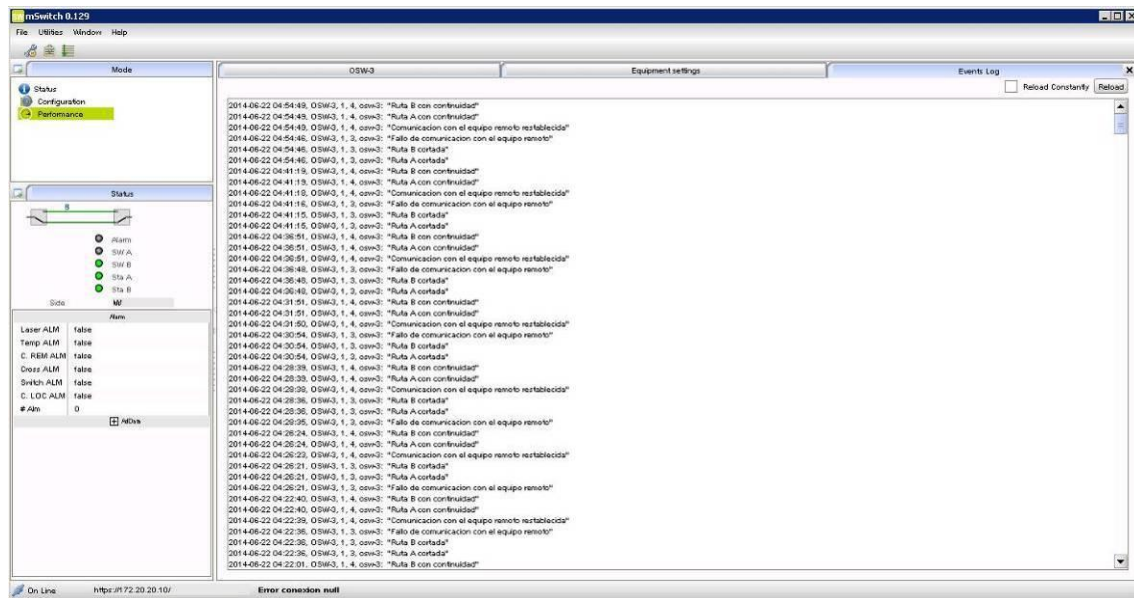


Figura 102. Ventana de LOGs y eventos

Para acceder a su representación se puede llegar desde el menú utilities→Event log.

Anexo VII: TRAPs de Alarmas de OSW-3

En los equipos OSW-3, tal y como se ha podido ver, existe una serie de eventos o alarmas que indican, en tiempo real, el estado o los sucesos que ocurren en cada enlace de fibra. Para ello, se definen por defecto una serie de Traps básicos de alarmas que se definen a continuación en las siguientes tablas:

Message	Severity
Ruta A cortada	ERR
Ruta A con continuidad	WARNING
Ruta B cortada	ERR
Ruta B con continuidad	WARNING
Conmutacion a ruta A a peticion del usuario (manual)	WARNING
Conmutacion a ruta B a peticion del usuario (manual)	WARNING
Conmutacion a ruta A por corte de fibra	WARNING
Conmutacion a ruta B por corte de fibra	WARNING
Conmutacion a ruta A por vuelta a ruta principal	WARNING
Conmutacion a ruta B por vuelta a ruta principal	WARNING
Conmutacion a ruta A por aumento de atenuacion	WARNING
Conmutacion a ruta B por aumento de atenuacion	WARNING
Conmutacion a ruta A por error (BER excesivo)	WARNING
Conmutacion a ruta B por error (BER excesivo)	WARNING
Conmutacion a ruta A por intrusion o manipulacion	WARNING
Conmutacion a ruta B por intrusion o manipulacion	WARNING
Ruta A sin exceso de atenuacion	WARNING
Ruta A con exceso de atenuacion	ERR
Ruta B sin exceso de atenuacion	WARNING
Ruta B con exceso de atenuacion	ERR
Comunicacion con el equipo remoto restablecida	WARNING
Fallo de comunicacion con el equipo remoto	ERR
Desaparicion de la condicion de intrusion en ruta A	WARNING
Posible intrusion en ruta A	ERR
Desaparicion de la condicion de intrusion en ruta B	WARNING
Posible intrusion en ruta B	ERR
Conmutacion del switch activada	WARNING
Conmutacion del switch desactivada (excepto en modo manual)	WARNING
Fuente de alimentacion del lado izquierdo apagada	WARNING
Fuente de alimentacion del lado izquierdo encendida	WARNING
Fuente de alimentacion del lado derecho apagada	WARNING
Fuente de alimentacion del lado derecho encendida	WARNING
Tarjeta optica no presente	CRIT

Message	Severity
Tarjeta optica presente	WARNING
Alarma activada: El switch no ha conmutado	ALERT
Alarma desactivada: El switch ha vuelto a conmutar	WARNING
Alarma activada: Temperatura de la placa por debajo del limite inferior	ALERT
Alarma desactivada: Temperatura de la placa dentro de los margenes	WARNING
Alarma activada: Temperatura de la placa por encima del limite superior	ALERT
Alarma desactivada: Temperatura de la placa dentro de los margenes	WARNING
Alarma activada: Configuracion incorrecta del equipo local	ALERT
Alarma desactivada: Configuracion correcta del equipo local	WARNING
Alarma activada: Incompatibilidad de configuracion con el equipo remoto	ALERT
Alarma desactivada: Compatibilidad de configuracion con el equipo remoto	WARNING
Alarma activada: Rutas cruzadas	ALERT
Alarma desactivada: Rutas no cruzadas	WARNING
Alarma activada: Averia en laser	ALERT
Alarma desactivada: Laser correcto	WARNING

Tabla. XXVII. Traps básicos y eventos de equipos OSW-3

Del mismo modo, la flexibilidad de implementarlo en las diferentes plataformas de gestión, nos da la opción de definir la severidad de cada evento:

Priority	Value
emerg	0
alert	1
crit	2
err	3
warning	4
notice	5
info	6
debug	7

Tabla. XXVIII. Definición de la severidad de los Traps

Referencias Bibliográficas

- [1] Capmany, J.; Fraile-Peláez, F. Javier; Martí, J. “*Fundamentos de Comunicaciones Ópticas*”. Ed. Síntesis, S.A. Madrid, 1998.
- [2] “Análisis del espectro óptico en las comunicaciones por fibra óptica” - Robert Pous Grébol - Laboratorio de Telecomunicación de PROMAX Electronica S.A.
- [3] “Introducción a la Jerarquía Digital Síncrona - ISBN 84-689-0673-5”; 2005; Dr Luis Velasco – Universidad Politécnica de Cataluña –
- [4] Recomendación UIT-T G.803. “Arquitectura de redes de transporte basadas en la jerarquía digital síncrona”.
- [5] ITU-T Recommendation G.872. “Architecture of Optical Transport Network”.
- [6] ITU-T Recommendation G.709/Y.1331. “Interfaces for the Optical Transport Network (OTN)”.
- [7] “Tutorial de Comunicaciones Ópticas” – 2006
<http://nemesis.tel.uva.es/images/tCO/index.htm>
- [8] “Optical Transport Network (OTN) MSPP platforms based on WDM,” - White Paper – PacketLight Company Website, 2015
- [9] Suresh Subramaniam. “Optical WDM networks - Principles and Practice”. George Washington University. 2002.
- [10] “Optical Components for WDM Lightwave Networks” - Michael S. Borella, Jason P. Jue, Dhritiman Banerjee, Byrav Ramamurthy and Biswanath Mukherjee. IEEE 1997.
- [11] Fibernet Certified Field Associate (FCFA) - Certificados de Experto Fibernet “Soluciones de Transporte Óptico” – Fibernet White Paper 2015
- [12] Instituto Tecnológico de La Laguna – Mexico - Grado de Electrónica-
www.itlalaguna.edu.mx/Academico/Carreras/electronica/opteca/OPTOPDF7_archivos/UNIDAD7TEMA3.PDF

-
- [13] Jean-Pierre Laude, "DWDM Fundamentals, Components, and Applications", Artech House, 2002.
- [14] Mukherjee, Bishwa Nath. "Optical WDM networks" Springer. 2006.
- [15] "The Transmode Way" – Transmode Company website 2015
- [16] "Manual de Operación de los equipos FIBERNET" - FIBERNET, 2015
- [17] G. K. L. Wong et al., "Excitation of Orbital Angular Momentum Resonances in Helically Twisted Photonic Crystal Fiber," Science 337: 446-449, 27 July 2012.
- [18] "Conference in lasers and electro optics 2015" – "IBM's Silicon Photonics Technology Ready to Speed up Cloud and Big Data Applications", 12 Mayo, 2015

